



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Programa de doctorado: Recursos Naturales y Gestión Sostenible

Tesis Doctoral



ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS PARA LA DEFENSA CONTRA
INCENDIOS FORESTALES EN EL MONTE “DESDE AGUAMULAS A MONTERO” EN EL PARQUE
NATURAL SIERRA DE CAZORLA, SEGURA Y LAS VILLAS.

ANALYSIS AND INVESTIGATION OF INFRASTRUCTURES FOR DEFENSE AGAINST WILDFIRES
IN THE FOREST “DESDE AGUAMULAS A MONTERO” IN THE NATURAL PARK “SIERRA DE
CAZORLA, SEGURA Y LAS VILLAS”.

Doctorando: Aurora Ferrer Palomino

Director: Dr. Francisco Rodríguez y Silva

Fecha: 13 de Abril de 2021

TITULO: ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS PARA
LA DEFENSA CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN EL MONTE
"DESDE AGUAMULAS A MONTERO" EN EL PARQUE
NATURAL SIERRA DE CAZORLA, SEGURA Y LAS VILLAS

AUTOR: *Aurora Ferrer Palomino*

© Edita: UCOPress. 2021
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
ucopress@uco.es



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

INSTITUTO DE POSTGRADO IDEP

Programa de doctorado: Recursos Naturales y Gestión Sostenible

Tesis Doctoral

**ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS PARA LA DEFENSA CONTRA
INCENDIOS FORESTALES EN EL MONTE “DESDE AGUAMULAS A MONTERO” EN EL PARQUE
NATURAL SIERRA DE CAZORLA, SEGURA Y LAS VILLAS.**

Tesis doctoral presentada por Aurora Ferrer Palomino, para optar al grado de Doctor por la Universidad de Córdoba bajo la dirección del Dr. Francisco Rodríguez y Silva profesor del Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba.

Doctorando: Aurora Ferrer Palomino

Director: Dr. Francisco Rodríguez y Silva

Córdoba 2021



DOCTORANDO/A: Aurora Ferrer Palomino

INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

La tesis doctoral denominada “ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS PARA LA DEFENSA CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN EL MONTE “DESDE AGUAMULAS A MONTERO” EN EL PARQUE NATURAL SIERRA DE CAZORLA, SEGURA Y LAS VILLAS”, elaborada bajo el programa “Recursos Naturales y Gestión Sostenible” de la Universidad de Córdoba, constituye un estudio enfocado a la caracterización de las infraestructuras de defensa de la zona objeto del estudio, desde la perspectiva de la combustibilidad de las coberturas vegetales presentes y la determinación de perímetros operacionales.

Para ello las investigaciones realizadas han estado enfocadas a la caracterización de los modelos de combustibles mediante el uso de herramientas Lidar, lo que ha permitido generar una metodología para el reconocimiento diferencial de combustibles tanto superficiales como arbóreos, alcanzando exactitud en las variables asociadas y precisión en la definición de los contornos. Con la modelización de la combustibilidad alcanzada, se han podido determinar el comportamiento dinámico y energético del fuego que potencialmente desarrollarían las propagaciones. En base a los resultados obtenidos, han sido calculados y aplicados índices de ayuda a la toma de decisión para el establecimiento de las prioridades de defensa y conocimiento espacializado de la dificultad de extinción. A partir del conocimiento de las condiciones expansivas de las propagaciones potenciales, han sido evaluadas las capacidades resistivas de las infraestructuras de defensa existentes en la zona de estudio.

Con el fin de realizar una clasificación del paisaje, en relación con las operaciones de extinción, el cambio neto en el valor de los recursos, y la predicción zonificada de los costes de extinción, ha sido determinada una metodología para la definición del número y rango de superficies de los perímetros operacionales delineables (PODs). Los resultados generados han proporcionado algoritmos para ser aplicados en aquellas áreas forestales que requieran del establecimiento de programas de defensa contra incendios forestales.

El trabajo desarrollado en la tesis ha contado con un intenso y complejo trabajo de campo, así como analítico y de cálculos algorítmicos. Han sido elaborado dos artículos científicos, uno que recoge la caracterización de la combustibilidad mediante el uso de técnicas basadas en Lidar (publicado en la revista *FOREST Forests* 2021, 12, 1011. <https://doi.org/10.3390/f12081011>) y un segundo artículo dedicado a la determinación de los PODs, y modelización de algoritmos predictores relacionado con las operaciones de extinción (actualmente bajo revisión). Otra importante extensión de los resultados de la tesis ha sido la generación de una importante cartografía temática que ya está siendo utilizada en una actualización y refuerzo de las acciones de defensa contra incendios forestales en la zona objeto del estudio. Actividad ésta, en la que participa el Laboratorio de Incendios Forestales (LABIF-UCO) adscrito al


Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba, la dirección del Centro Operativo Provincial del Plan INFOCA de la Junta de Andalucía en Jaén y el Departamento de Gestión Forestal del P.N. de Cazorla, Segura y las Villas.

Finalmente, se manifiesta que se han cumplido los objetivos de la formación doctoral de la autora, elaborado el documento de tesis y realizada la publicación del artículo científico en la revista Forest (Q1, 2,633 impact factor, 3,3 citescorpe scopus).

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 17 de septiembre de 2021

Firma del director

RODRIGUEZ SILVA FRANCISCO LORENZO - 24877233L	 Firmado digitalmente por RODRIGUEZ SILVA FRANCISCO LORENZO - 24877233L Fecha: 2021.09.17 10:07:23 +02'00'
---	--

Fdo.: Fco. Rodríguez y Silva



TÍTULO DE LA TESIS: ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS PARA LA DEFENSA CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN EL MONTE “DESDE AGUAMULAS A MONTERO” EN EL PARQUE NATURAL SIERRA DE CAZORLA, SEGURA Y LAS VILLAS.

DOCTORANDO/A: Aurora Ferrer Palomino

RESUMEN:

Los incendios ocurridos en las últimas décadas en el Parque Natural Sierra de Cazorla, Segura y Las Villas han presentado un potencial extremo recorriendo grandes superficies. Este trabajo tiene como finalidad estudiar y analizar las líneas preventivas de un monte localizado en ese Parque Natural. La vegetación contribuye sustancialmente al comportamiento de los incendios forestales, al ser el medio para su propagación. Históricamente para caracterizar el comportamiento del fuego se han definido los modelos de combustible, definidos por la estructura física, densidad y carga de combustible.

La tecnología LiDAR ha sido utilizada anteriormente para la caracterización de los modelos de combustible de Scott y Burgan (2005), (Jakubowski et al. 2013). En este caso se ha elaborado una metodología que permite obtener los modelos de combustible UCO40 (Rodríguez y Silva et al. 2010) con tecnología LiDAR, centrándose en la estructura física de la vegetación. Además, se ha profundizado en la forma adecuada de realizar la zonificación de la superficie para así realizar un estudio en profundidad de estas delimitaciones más pequeñas denominadas POD (Potential wildlandfire Operational Delineations). Los criterios para su diseño fueron creados por Thompson, et al. (2016) y en este trabajo se ha desarrollado una metodología para conocer con anterioridad el número de POD que debe de existir con anterioridad a su trazado.

Estas nuevas metodologías desarrolladas íntegramente con medios de acceso libre facilitan una herramienta para que los profesionales del ámbito forestal puedan realizar un estudio en profundidad de sus territorios. La periodicidad con la que se realizan vuelos LiDAR en el territorio español permitiría generar una actualización de los modelos de combustible de su zona de manera precisa.

Bibliografía:

- Scott, J.H., Burgan, R., (2005) Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Rep. No. RMRS GTR-153. Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO.
- Thompson, M.P., Bowden, P., Brough, A., Scott, J.H., Gilbertson-Day, J., Taylor, A., Anderson, J. & Haas, J.R. (2016) Application of Wildfire Risk Assessment Results to Wildfire Response Planning in the Southern Sierra Nevada, California, USA. Forest, 7(3), 64
- Jakubowski, M. Guo, O. Collins, B., Stephens, S., Kelly, M. (2013). Predicting Surface Fuel Models and Fuel Metrics Using Lidar and CIR Imagery in a Dense, Mountainous Forest. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 79. 37-49. 10.14358/PERS.79.1.37.

Agradecimientos

A mi familia por su apoyo y paciencia, al director de este trabajo D. Francisco Rodríguez y Silva por todo lo que me ha enseñado y a la oportunidad que ambos me han brindado. A los proyectos “Centro Ibérico para la Investigación y Lucha contra Incendios Forestales” CILIFO (0753_CILIFO_5_E) y VIS4FIRE (convocatoria INIA RTA2017).

**ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS PARA LA
DEFENSA CONTRA INCENDIOS FORESTALES EN EL MONTE “DESDE
AGUAMULAS A MONTERO” EN EL PARQUE NATURAL SIERRA DE
CAZORLA, SEGURA Y LAS VILLAS.**

Aurora Ferrer Palomino

0. Índice

0. Índice.....	VII
0.1. Índice de figuras.....	X
0.2. Índice de tablas.....	XIII
1. Introducción y estado del arte.....	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Actualización del análisis del riesgo.....	20
1.2.1. El riesgo, consideraciones legales.....	21
1.2.2. El riesgo, consideraciones algorítmicas.....	23
1.3. Sistemas de priorización.....	26
1.4. Actualización de la cobertura de modelos de combustible.....	28
1.5. Fundamentos y aplicación de la tecnología LiDAR.....	30
1.6. Objetivos.....	32
2. Zona de estudio y datos empleados.....	35
2.1. Zona de estudio.....	35
2.1.1. Incendios forestales en la zona de estudio.....	44
2.1.2. Defensa contra incendios forestales.....	46
3. Materiales y métodos.....	50
3.1. Materiales.....	50
3.1. Metodología.....	50
3.1.1. POD.....	50
3.2.2. Análisis del comportamiento del fuego:.....	62

3.2.3. Análisis de la extinción de los incendios forestales:	70
3.2.3. Simulación de incendios forestales:.....	73
3.3. Actualización de la cartografía de modelos de combustible:	75
3.3.1. Densidad aparente de copas <i>Pinus pinaster</i>	85
3.3.2. Otras variables dasocráticas.....	89
3.3.3. Peso de copas a nivel de monte.	96
3.4. Análisis estadístico.	97
4. Resultados.....	100
4.1. POD.....	100
4.2. Análisis del comportamiento del fuego:.....	105
4.2.1. Índice de peligro potencial:	105
4.2.2. Análisis de la extinción de los incendios forestales:	113
4.2.3. Simulación de incendios forestales:.....	120
4.3. Actualización de la cartografía de modelos de combustible:	123
4.3.1. Densidad aparente de copas <i>Pinus pinaster</i>	129
4.3.2. Otras variables dasocráticas.....	130
4.3.3. Peso de copas a nivel de monte.	132
5. Discusión	135
5.1. POD:.....	135
5.2. Análisis del comportamiento del fuego:.....	138
5.2.1. Índice de peligro potencial:	138
5.2.2. Análisis de la extinción de los incendios forestales:	139
5.2.3. Simulación de incendios forestales:.....	140
5.3. Actualización de la cartografía de modelos de combustible:	141
5.3.1. Densidad aparente de copas <i>Pinus pinaster</i>	142

	Índice
5.3.2. Otras variables dasocráticas.....	144
5.3.3. Peso de copas a nivel de monte.....	145
5. Conclusiones.....	148
7. Bibliografía.....	153
ARTÍCULOS.....	153
LEGISLACIÓN	164
LIBROS	166
WEBGRAFÍA.....	167
 Anexo 1	 168
Anexo 2	170
Anexo 3	172

0.1. Índice de figuras

Figura 1: Enclave de la superficie de estudio (rojo) en el Término Municipal de Santiago – Pontones, la provincia de Jaén, España y Europa.....	35
Figura 2: Mapa de alturas en 3D, “Desde Aguamulas a Montero”	37
Figuras 3 y 4: Mapa de pendientes y orientaciones, “Desde Aguamulas a Montero”.	38
Figura 4: Zonas ocupadas por Hábitats de Interés Comunitario, “Desde Aguamulas a Montero”. Fuente: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.	40
Figura 5: Mapa de recursos hídricos, “Desde Aguamulas a Montero”	41
Figura 6: Gráfico de Temperatura máxima y humedad mínima anual.	42
Figura 7: Mapa de terrenos cinegéticos, “Desde Aguamulas a Montero”.	43
Figura 8: En blanco se representa el perímetro del incendio del 2005 y en blanco el límite de zona de estudio.	45
Figura 9: Localización en rojo de las fajas auxiliares y en amarillo de los cortafuegos.	47
Figura 10: Esquema del análisis del riesgo ilustrado en el Plan INFOCA (Decreto 371/2010, 14 de septiembre, Junta de Andalucía).....	48
Figura 11: Diagrama de flujo para la generación de los modelos relacionados con la zonificación.	53
Figura 12: Croquis de la hipótesis de las parcelas-vértice.....	57
Figura 13: Importancia de las variables utilizadas en la red neuronal.	60
Figura 14: Foto tomada en una de las parcelas visitadas. Elaboración propia.....	67
Figura 15: Localización de los barrancos en la zona de estudio.	68
Figura 16: Puntos de ignición (verde) sobre equipamientos de la Junta de Andalucía, áreas cortafuegos (amarillo) y fajas auxiliares (rojo) y ortofotos P.N.O.A.	74
Figura 17: Croquis de modelos de combustibles de pastos.	78
Figura 18: Croquis de modelos de combustibles de pasto-matorral.....	79
Figura 19: Croquis de modelos de combustibles de matorral.	80

Figura 20: Croquis de modelos de combustibles de pasto-matorral-hojarasca.	81
Figura 21: Croquis de modelos de combustibles de hojarasca-restos.....	82
Figura 22: Localización de las parcelas muestreadas de <i>Pinus pinaster</i>	86
Figura 23: Localización de las parcelas muestreadas de toda la masa forestal.....	93
Figura 24: Localización de los POD en la zona de estudio.	102
Figura 25: Valores de lig en “Desde Aguamulas a Montero”.	105
Figura 26: Valores de lcd en “Desde Aguamulas a Montero”.	106
Figura 27: Valores de lce en “Desde Aguamulas a Montero”.	107
Figura 28: Valores de lce copas en “Desde Aguamulas a Montero”.	108
Figura 29: Valores de lce barrancos en “Desde Aguamulas a Montero”.	109
Figura 30: Valores de lce compuesto en “Desde Aguamulas a Montero”.	110
Figura 31: Valores de lpp en “Desde Aguamulas a Montero”.	111
Figura 32: Valores de lpp con lce compuesto en “Desde Aguamulas a Montero”.	112
Figura 33: Valores de la en “Desde Aguamulas a Montero”.	113
Figura 34: Valores de lm en “Desde Aguamulas a Montero”.	114
Figura 35: Valores de lpe en “Desde Aguamulas a Montero”.	115
Figura 36: Valores de lar en “Desde Aguamulas a Montero”.	116
Figura 37: Valores de lald en “Desde Aguamulas a Montero”.	117
Figura 38: Valores de SDI en “Desde Aguamulas Montero”.	118
Figura 39: Valores de SDI compuesto en “Desde Aguamulas a Montero”.	119
Figura 40: Simulación con condiciones meteorológicas medias en “Desde Aguamulas a Montero”.	120
Figura 41: Simulación con condiciones meteorológicas máximas en “Desde Aguamulas a Montero”.	121
Figura 42: Numeración de los cortafuegos.	123
Figura 43: Modelos del grupo pastos en la superficie.....	124

Figura 44: Modelos de matorral en la superficie.	125
Figura 45: Modelos de hojarasca, pasto y matorral en la superficie.....	126
Figura 46: Modelos de combustible de hojarasca y restos.....	127
Figura 47: Gráfica de efectos principales.....	130

0.2. Índice de tablas

Tabla 1: Hábitat de Interés Comunitario en el monte “Desde Aguamulas a Montero”. Fuente: Comisión Europea.....	39
Tabla 2: Temperaturas máximas y humedades mínimas.....	41
Tabla 3: Número de visitantes por año en los meses más influyentes en el P.N. de Cazorla, Segura y Las Villas.....	46
Tabla 4: Materiales utilizados.....	50
Tabla 5: Rangos obtenidos por parcela inventariada.	55
Tabla 6: Depreciación y valor económico real medios estimados en la superficie de los POD.....	61
Tabla 7: Características estructurales para la modelización de los modelos de combustible.	83
Tabla 8: Características dasocráticas obtenidas en las 12 parcelas de 20 metros de radio.	86
Tabla 9: Ubicación por coordenadas de las parcelas muestreadas de <i>Pinus pinaster</i>	87
Tabla 10: Valores obtenidos para CBD.	88
Tabla 11: Número de pies y densidades obtenidos por parcela.....	90
Tabla 12: Localización por coordenadas de las parcelas muestreadas de la masa forestal.	92
Tabla 13: Densidad (pies/ha) de las parcelas muestreadas de toda la masa forestal.	94
Tabla 14: Resultados del muestreo del inventario de la masa forestal.....	95
Tabla 15: Modelos estimados para la obtención del número de POD.	103
Tabla 16: Modelos estimados para la obtención de la superficie mínima de los POD.	104
Tabla 17: Relación entre el ancho de los cortafuegos y la longitud de llama en su extensión. Elaboración propia.	122
Tabla 18: Modelos observados en las parcelas de campo y modelos predichos con LiDAR.	128
Tabla 19: Resultados obtenidos entre los modelos observados y predichos por grupos.	129

Tabla 20: Modelos de variables dasocráticas.....	130
Tabla 21: Modelos obtenidos a partir de información de la masa de pinos.....	132

Introducción y estado del arte

1. Introducción y estado del arte

1.1. Introducción.

Los incendios forestales han aumentado en tamaño y frecuencia, al igual que los costos de extinción (North et al., 2015). Estos incendios han tenido efectos, además de sobre los costos de extinción, sobre la propiedad, la calidad del aire y alterando los hábitats (Jaffe et al. 2008). Debida a la fuerte relación que existe entre la meteorología y la ocurrencia del fuego (Piñol et al. 1998), se ha podido establecer la relación entre los incendios forestales y el cambio climático (Abrha y Adhana, 2019) (Molina et al., 2019). Esto hace que superficies que antes tenían una baja probabilidad de ser devastadas por un incendio forestal se encuentren ahora como objetivo de estos siniestros.

Los incendios forestales son considerados uno de los grandes problemas ambientales y antrópicos que existen en la actualidad (Moritz et al., 2014; Curt y Frejaville 2017; Otero y Nielsen, 2017). A modo de ejemplo tenemos el incendio ocurrido en el año 2018 en California, donde, desde mediados de julio hasta agosto ocurrieron una serie de grandes incendios interactuando gravemente con núcleos de población, afectando a viviendas, habitantes y animales por igual. Varias personas murieron y hubo más de 1.000 desaparecidos, esto provocó que el 4 de agosto de 2018 se declarara la emergencia nacional en el norte de California.

La zona de la cuenca mediterránea, en la que existe una gran cantidad de biomas adaptados a una estación recurrente de incendios (Salis et al., 2012), los incendios han configurado en muchos casos los ecosistemas mediterráneos (Molina et al., 2011). Es el caso de España, puesto que la sociedad estaba en consonancia con el aprovechamiento forestal (Thirgood, 1981) y el uso del fuego. Siendo el ser humano el mayor causante de cambios en la vegetación de la Península Ibérica (Barbero et al., 1990).

En los últimos años debido a que la población en las zonas rurales ha disminuido, ha comenzado un proceso que incrementa la cantidad de biomasa/combustible presente en los sistemas forestales (Chuvieco et al., 2012). Los arbustos han comenzado a invadir las superficies que anteriormente eran agrícolas (Stellmes et al., 2013), conformando nuevas zonas forestales.

En España no se ha declarado ninguna emergencia de interés nacional relacionada con los incendios forestales. Estando definido esta tipología de emergencia en el artículo 28 de la Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil. Esta tipología de emergencia se declararía por distintas variables como pueden ser: que la dimensión efectiva o previsible del incendio requiera una dirección nacional, porque afecte a varias Comunidades Autónomas, que exijan recursos a nivel supraautonómico o porque se requiera para la protección de personas y bienes.

En este último caso se destaca la presencia de zonas denominadas interfaz urbano-forestal, que se definen como zonas donde se combinan edificaciones o viviendas con superficies forestales. Esta definición no abarca las múltiples interacciones e intercambios que se desarrollan entre estos dos subsistemas territoriales (el social/urbano y el natural/forestal) (Vince et al., 2005). Esta tipología de incendios es la más preocupante, ya que, además de afectar a recursos naturales o bienes, también lo hace a vidas humanas.

Uno de los ecosistemas llamativos de España, es el Parque Natural de Sierra de Cazorla, Segura y Las Villas, donde se centra el presente trabajo. Posee bosques milenarios de *Pinus nigra* Arnold subsp. *salzmannii* (Dunal), y forma parte del patrimonio cultural en Andalucía (Reyes et al., 2018).

Antiguamente la madera de los pinos de la zona era utilizada para la construcción de edificios, como por ejemplo y datada en 1650, la catedral de Jaén (Jiménez et al., 2007). En una época más cercana, a partir de 1942 hasta mitad de 1988, RENFE poseía una división denominada Explotaciones Forestales, que centraba su actividad en la Sierra de Cazorla y Segura para que no cesara el abastecimiento de madera (Araque, 2013).

En la actualidad las principales actividades desarrolladas en el T.M. de Cazorla son: el comercio al por mayor y al por menor, reparación de vehículos de motor y motocicleta, la hostelería y la construcción (Instituto de Estadística y Cartografía, Junta de Andalucía; Fecha de consulta: 26/09/2019).

Este trabajo se centra en el estudio de una superficie forestal en el Término Municipal de Santiago – Pontones dentro del Parque Natural Sierra de Cazorla, Segura y Las Villas en Jaén. Esta provincia se caracteriza por ser eminentemente rural, donde existen núcleos de población pequeños incrustados en la predominancia forestal de la superficie. Dentro de la

provincia y como ejemplo de lo anteriormente comentado, destaca el P.N. Sierra de Cazorla, Segura y Las Villas, con un patrimonio natural incalculable, donde existen tanto dentro como en la periferia del mismo, varios núcleos de población pequeños, además de distintas edificaciones enfocadas principalmente al recreo y a la explotación de los recursos naturales.

Específicamente el T.M. de Santiago – Pontones posee una superficie de 68.230 hectáreas, de las cuales 2.086 hectáreas son cultivos, tanto herbáceos como leñosos, contando con 27 núcleos de población¹ (Instituto Nacional de Estadística de España) con una población total de 3.108 personas (Datos obtenidos del Instituto de Estadística y Cartografía). Con esta caracterización del T.M. se puede asegurar que la mayoría de la superficie es forestal y que por ende las actividades que se ejercen en la zona están enfocadas al aprovechamiento del mismo, tanto directamente (selvicultura, ganadería, apicultura) como indirectamente (turismo, transporte, reparación de vehículos...).

Centrándonos en los incendios forestales, estadísticamente el T.M. de Santiago – Pontones se encontraría dentro de los cinco Términos Municipales con más incidencias, dentro de la provincia, ya que, en Jaén durante el periodo de tiempo de 2008 a 2012 hubo 563 siniestros de los que 23 (4%) ocurrieron en Santiago – Pontones.

Se puede comprobar que a nivel estatal el número de siniestros está disminuyendo gracias a que se han desarrollado normativas, técnicas e incorporado medios para reducir tanto el número de siniestros como la superficie de los mismos. Aun así, es alarmante como un tanto por ciento pequeño de estos incendios forestales produce la mayoría de la superficie afectada, en el año 2017, el 0,41% de los siniestros afectó al 54,96% de la superficie total quemada², son los denominados Grandes Incendios Forestales (GIF).

¹ Se considera núcleo de población a un conjunto de al menos diez edificaciones, que están formando calles, plazas y otras vías urbanas. Por excepción, el número de edificaciones podrá ser inferior a 10, siempre que la población que habita las mismas supere los 50 habitantes (Instituto Nacional de Estadística de España).

² Los incendios forestales en España 1 de enero – 31 de diciembre 2017. avance informativo. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Aunque en el T.M. donde se centra el estudio no ha ocurrido ningún GIF desde que se recoge la estadística en el año 1975, en Términos Municipales aledaños sí que han ocurrido, siendo el más reciente en el año 2017 en Segura de la Sierra con una superficie forestal quemada de 682,65 hectáreas. Más adelante en el texto se detalla la situación específica de los incendios en la zona, ya que con estas líneas solo se busca esbozar las razones para la realización del estudio.

En el presente trabajo se pretende desarrollar una metodología que permita mejorar la prevención, no solo en la zona de estudio, sino extrapolable a otras superficies forestales.

Para ello se van a utilizar varias técnicas, entre otras, la división de la superficie, que permitirá una caracterización individual en pequeñas zonas, donde concurra una tipología de circunstancias, aplicando fórmulas que precisen el número de divisiones y por ende su superficie aproximada (al no establecerse límites fijos). En la caracterización de los modelos de combustible a través del LiDAR³ y la caracterización de las copas de la especie *Pinus pinaster* Ait., teniendo en cuenta la información que se puede extraer de este tipo de tecnología, pueden existir algunas limitaciones, como: la capacidad del pulso de traspasar las copas o la densidad de pulsos del vuelo.

Se pretende, además, la mejora de distintas fórmulas, permitiendo la valoración del comportamiento del fuego, mejorando la representación y simulación, que se tenía de los denominados fuegos de copas y fuegos eruptivos.

El estudio realizado ha quedado organizado temáticamente en base a los siguientes puntos:

Introducción: recoge la presentación y la revisión del estado actual de las metodologías además de la justificación de este trabajo. Además, se exponen los objetivos que se pretenden abarcar con este trabajo, definiéndose mejor las líneas que se van a seguir para el desarrollo de estos.

³ Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging.

En el segundo apartado, zona de estudio, tiene un enfoque para caracterizar la superficie, describiendo su ubicación, situación legal, características fisiográficas, vegetación, orografía, figuras de protección, incendios ocurridos en la zona y cercanías. Asimismo, se detalla con mayor profundidad la utilidad de este estudio justificando su interés científico y social.

En el tercer apartado de la tesis, materiales y métodos (es uno de los pilares del trabajo), se incluyen los documentos, materiales y herramientas empleados para la elaboración de la tesis. La metodología, aunque muy ligada a los materiales utilizados, podría considerarse un gran bloque dentro de este trabajo, ya que sin unos métodos bien definidos no se desarrollaría el resto del documento. En este apartado se incluyen los procedimientos metodológicos empleados y desarrollados en el contexto de la presente tesis.

En el cuarto apartado se exponen los resultados obtenidos a partir de las metodologías aplicadas.

En el quinto apartado se incluye un análisis reflexivo que a modo de discusión evalúa los logros, así como las dificultades y limitaciones que a resultados de las investigaciones realizadas han podido ser determinadas.

Aunque es en este último apartado (el sexto), conclusiones, donde se apreciara realmente el rendimiento de las modificaciones realizadas resaltando sus beneficios y desventajas, permitiendo verificar y/o matizar lo que ya se sabía.

1.2. Actualización del análisis del riesgo.

Es común confundir los términos riesgo y peligro, es por ello por lo que se van a definir los dos. El riesgo es la influencia de la incertidumbre en los objetivos (ISO 31000) o la variabilidad potencial de los eventos (Williams, 2002). La incertidumbre es un estado mental caracterizado por la falta de información que permita la comprensión de un evento Rozycki (2018). Esta falta de información no evita que la circunstancia no ocurra, pero si tiene relevancia en la toma de decisiones. El riesgo tiene las siguientes características:

- Se refiere a eventos potenciales, sus resultados o ambos.

- Es la combinación de la probabilidad de un evento y sus resultados, y como tal admite el uso de herramientas estadísticas.

En comparativa el peligro puede expresarse como la cuantificación del daño o de una lesión, por lo que está claro la diferencia, y que los análisis previos que se realicen a la ocurrencia de un incendio forestal son para el cálculo del riesgo de estos.

1.2.1. El riesgo, consideraciones legales.

Existe una variedad de metodologías para caracterizar las superficies dependiendo del riesgo que se les atribuya a las mismas, esta variedad surge de la delegación de responsabilidad surgida en la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, artículo 48 apartado 2: “Corresponde a las comunidades autónomas la declaración de zonas de alto riesgo y la aprobación de sus planes de defensa.” Y apartado 4 del mismo artículo “La normativa de las comunidades autónomas determinará las modalidades para la redacción de los planes de defensa...”. Aunque esta legislación se vio modificada por la Ley 21/2015, de 20 de julio el artículo que aquí se menciona no sufrió alteración alguna.

Debido a la diversidad existente en España el análisis del riesgo puede obtenerse por una variedad de metodologías, sin contar las metodologías utilizadas en otros países.

En Andalucía la determinación del riesgo se encuentra detallado en el Decreto 247/2001, de 13 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Prevención y Lucha contra los Incendios Forestales, en su artículo 9 apartado 3.d “Estimación del riesgo de incendios. Se realizará en función de la pendiente del terreno, del tipo de vegetación existente y de la combustibilidad de la misma.”

En el texto del Plan INFOCA, y en el capítulo V Análisis del riesgo, se desarrolla la metodología a seguir en la que se consideran cuatro tipos de riesgo:

- Riesgo estructural: determinado por la orografía y características de la vegetación.
- Riesgo meteorológico: obtenido por la temperatura, humedad, precipitaciones y viento.

- Riesgo de estrés hídrico: derivado de las condiciones de estrés de la vegetación (influye la meteorología).
- Riesgo de frecuencia de incendios: que tiene en cuenta el número de incendios y si causalidad.

En Castilla – La Mancha la Ley 3/2008, de 12 de junio, de Montes y Gestión Forestal Sostenible de Castilla-La Mancha, define en su artículo 62 apartado 1 las zonas de alto riesgo de incendio como: “Aquellas áreas en las que la frecuencia o virulencia de los incendios forestales y la importancia de los valores amenazados hagan necesarias medidas especiales de protección contra los incendios, podrán ser declaradas zonas de alto riesgo de incendio o de protección preferente.”

En el Plan Especial de Emergencias por Incendios Forestales de Castilla – La Mancha (INFOCAM) se desarrolla la determinación del análisis del riesgo, el cual se ha dividido en dos factores: la peligrosidad y la vulnerabilidad. Siendo la peligrosidad la probabilidad de que ocurra un incendio forestal o de que alcance una magnitud determinada y la vulnerabilidad la susceptibilidad de que un elemento se vea afectado y, a la existencia de elementos de especial interés.

En Extremadura la Ley 5/2004, de 24 de junio, de Prevención y Lucha contra los Incendios Forestales en Extremadura, en el artículo 5 define las zonas de alto riesgo de incendios o de protección preferente, apartado 1: “El Consejo de Gobierno podrá declarar Zonas de Alto Riesgo de Incendios o de Protección Preferente, de acuerdo con el artículo 48.3º de la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes, formadas por áreas con predominio de terrenos forestales y delimitadas en función de los índices de riesgo y de los valores a proteger que hagan necesarias medidas especiales.”.

En el Plan de Prevención de Incendios Forestales de Extremadura (Plan PREIFEX) se desarrolla el análisis del riesgo a través del Índice de Peligro Potencial, el cual se describirá más adelante con detalle puesto que es el utilizado en este trabajo.

En Murcia no hacen referencia directa al análisis del riesgo, sino que lo derivan al ámbito de aplicación que dicta la legislación estatal, esto se observa en la Orden de 24 de mayo de

2010, de la Consejería de Agricultura y Agua, sobre medidas de prevención de incendios forestales en la Región de Murcia para el año 2010 en el artículo 2: “La presente Orden se aplica a todos los terrenos definidos como monte por el artículo 5 de la Ley 43/2003 de Montes...”

En el Plan de Protección Civil de Emergencia para Incendios Forestales en la región de Murcia (Plan INFOMUR) el análisis del riesgo se obtiene a partir de índices. El índice de riesgo se calcula en atendiendo a la orografía, climatología, a la superficie y densidad de su masa forestal tanto si es arbolada como matorral y fundamentalmente al número de incendios habidos en los últimos años.

Como se puede observar sin llegar a realizar una revisión de todas las comunidades autónomas la variedad de metodologías que se pueden seguir es amplia. Además de las que aquí se mencionan no se ha realizado un estudio en profundidad, que lo único que resaltaría son las discrepancias que existen en cuanto al cálculo del riesgo pues, aunque a grandes rasgos los factores utilizados pueden ser similares, cada comunidad ha aplicado sus propios rangos y cálculos para la obtención de categorías o índices que les defina el riesgo.

1.2.2. El riesgo, consideraciones algorítmicas.

Además de estas metodologías aplicadas en cada Comunidad Autónoma existe las desarrolladas en el ámbito científico. Se destaca el trabajo desarrollado por Hurteau et al. (2019) en el que se realiza una revisión del análisis en el ámbito de los incendios forestales.

En ese trabajo se refieren a la definición que proporciona la Organización Internacional para la Estandarización sobre el análisis del riesgo, que se define como: Comprender la naturaleza del riesgo, incluyendo sus características. Implica tener en consideración las incertidumbres, las fuentes, consecuencias, probabilidad, eventos, escenarios, controles y su efectividad.

También se apunta a que el análisis puede estar influenciado por sesgos, percepciones de riesgos, juicios o influencia adicionales por lo que debe documentarse todo el proceso. De toda la tipología de análisis que existe en este trabajo se centra en un análisis predictivo, ya

que lo que se busca es hacer una estimación previa para así tener una estrategia antes de que ocurra un evento (ISO 31000:2018 Risk Management).

Parte del análisis se dirige a reducir incertidumbres asociadas en este tipo de incidente, en el que se trabaja con información incompleta. La información utilizada para elaborar la respuesta frente a un incendio forestal debe estar apoyada en una planificación y la información de los escenarios de trabajo.

En Calkin et al. (2014) se analiza la gestión del riesgo, puesto que algunas acciones preventivas que deberían minorar el riesgo de incendio o su virulencia no consiguen su objetivo. Por ello, se debe reestructurar o reevaluar estas acciones y analizar el comportamiento y las tomas de decisiones de los gestores de la emergencia. Recalca que parte de los estudios realizados de riesgo deben tener deficiencias, puesto que, si se hace una estimación previa del riesgo y posterior a la acción preventiva y el riesgo analíticamente baja, pero empíricamente no, es evidente que algún fallo debe existir en la metodología.

Scott et al. (2013) desarrolla y describe un marco para determinar los riesgos y evaluar la mitigación de los incendios forestales. Algunas de sus características de este marco son, por un lado, la flexibilidad que posee al poder utilizar distintas fuentes de datos y por otro, la variabilidad en la escala de estudio. Se basa en las siguientes características de los incendios forestales: la probabilidad de ocurrencia, la intensidad, los efectos, los recursos actuando y activos de gran valor presentes en la zona. Permite conocer el desarrollo del incendio durante la ocurrencia de un incendio, pero no permite realizar un análisis previo de la zona ya que toma en cuenta variables como los medios activos.

En Hand et al. (2015) se estudia el riesgo, pero no solo en las condiciones físicas del medio sino como afecta al personal que trabaja en este tipo de emergencia. Dándoles a elegir entre dos estrategias distintas, esta elección tiene en cuenta la apreciación del personal sobre la información del riesgo. Ese artículo refleja que en ocasiones los gestores toman decisiones más allá de los datos analíticos que se poseen del territorio.

Dunn et al. (2019) presentan una novedosa forma de analizar el riesgo a partir de la evaluación cuantitativa del riesgo, el mapeo de la dificultad de extinción y la localización de posibles ubicaciones de control. Estas herramientas en conjunto proporcionan una stampa más completa de los incendios forestales y por tanto facilita la gestión del riesgo. Con cada una de estas herramientas se abarca la planificación previa, la estimación de riesgo previo a la ocurrencia del incendio forestal y las oportunidades de mitigación de la manera más directa.

Rodríguez et al. (2014), Rodríguez et al. (2020) se centra en realizar una estimación del riesgo teniendo en cuenta la topografía (pendiente, orientación) meteorología (temperatura), la vegetación (inflamabilidad de las especies), y caracterización del fuego (longitud de llama, calor por unidad de superficie, velocidad de propagación). En este último trabajo se han incluido subíndices que representarían los fuegos de copas al igual que fuegos eruptivos, con lo que se consigue una estimación más fiel a la realidad. Se destaca que tiene un análisis del riesgo que se ha de obtener antes que el índice de dificultad de extinción. Para este último índice utilizan una gran variedad de parámetros como son tipos de vías de comunicación, penetrabilidad en la masa y rendimientos de los medios, medios aéreos y líneas o zonas preventivas.

El índice que se obtiene es el de dificultad de extinción, que es también, una de las variables empleadas en el trabajo de Dunn et al. (2019), por lo que, se puede afirmar, que es una metodología asentada en el análisis del riesgo.

Es esta última metodología la que se va a emplear en este trabajo, contiene una gran cantidad de variables que nos permitirán tener una percepción exhaustiva de las características de la superficie forestal.

La metodología que se va a usar en este trabajo combina el trabajo desarrollado por Rodríguez et al. (2014), Rodríguez et al. (2020) con la metodología de Thompson et al. (2016).

Thompson (2016) propone delimitar la superficie de estudio en lo que denomina POD (Potential Wildlandfire Operational Delineations) que se pueden representar espacialmente

usando subcuencas o con características interesantes en las operaciones de extinción como pueden ser cumbres, cursos de agua, carreteras, cambios de elevación o de combustible.

Estas dos metodologías se complementan ya que la primera tiene en cuenta para su desarrollo características que la segunda utiliza para su delimitación. Además de que las dos se centran en puntos distintos, una en el análisis del riesgo y otra en una división del territorio. Esta afirmación se basa además en el trabajo que los investigadores desarrollaron de manera conjunta (O'Connor et al., (2016)) aunque en este trabajo no se pudieron incluir los medios aéreos, por lo que se obtuvo un índice de dificultad de extinción terrestre y tampoco estaba incluso el comportamiento eruptivo de los fuegos.

1.3. Sistemas de priorización.

Una vez conocido el riesgo, se desarrollaron metodologías para disminuirlo en distintos aspectos que mayoritariamente abarcan: Menguar las superficies afectadas en el caso de incendio forestal, valorizar los recursos de la superficie con el fin de conocer aquellos de mayor valor, disminuir la incidencia en ellos y optimizar el valor de los recursos a la hora de actuar en la extinción acorde al riesgo existente.

En la publicación electrónica correspondiente al III Taller de Lecciones Aprendidas de los Incendios Forestales, desarrollada por Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales adscrito al Departamento de Ingeniería Forestal de la Universidad de Córdoba (2018), se habla de distintas metodologías para disminuir el riesgo y la potencialidad de los incendios forestales. Va desde metodologías para las actuaciones preventivas tradicionales en localizaciones donde la llama sea mayor a 2 metro de altura, la velocidad de propagación sea superior a los 10 m/min, no haya pendientes superiores al 30% y donde no existan restricciones de la actividad selvícola, a métodos basados en la planificación y ejecución de fuegos prescritos bajo arbolado, debido a las consideraciones económicas, ecológicas y de eficacia en la reducción de los combustibles. También se habla de la optimización espacial de la inversión en prevención a partir de la identificación de Puntos Estratégicos de Gestión (PEG) (Castellnou et al., 2011) para lo cual se tiene en cuenta la potencialidad del incendio y las características de la zona de estudio. Estas zonas son compatibles con la división del

territorio que anteriormente se comentó, los POD (Thompson (2016)), ya que tiene en cuenta las características que eran necesarias para delimitarlos.

Hay que tener en cuenta que los PEG necesitan facilitar el trabajo al personal de extinción para, así limitar o disminuir la potencialidad de un incendio forestal (Madrigal et al., (2019)). Estas zonas derivan en un diseño del paisaje en mosaico, en el que este alcance una resistencia y resiliencia a los incendios forestales, ya que las labores de extinción y la propagación, se vería disminuida.

En Thompson et al. (2013) se realiza una cuantificación del riesgo para disminuir el impacto de un incendio forestal a recursos y activos de gran valor (Highly Valued Resources and Assets, HVRAs). Primero deben de ser localizados los HVRAs para a continuación realizar simulaciones y caracterizaciones del fuego en estos. Esta metodología además intenta integrar el juicio de expertos tanto en la evaluación de: riesgos ecológicos, incendios, combustibles y paisaje para crear una respuesta multidisciplinar que además valga para realizar una planificación.

Masarie et al. (2019) en este caso el enfoque está centrado a la gestión de los recursos. Analizando información como el clima, densidad de poblaciones cercanas, actividad en el incendio, personal solicitado y uso de este, desarrollaron una regresión lineal para la optimización de los medios en la extinción de los incendios forestales. Se observó un gran cambio en el comportamiento entre la gestión de una emergencia de nivel medio y de nivel alto.

En O'Connor et al. (2017) se desarrolla un modelo predictivo que permite localizar posibles ubicaciones de control en incendios teniendo en cuenta la topografía, las características de los combustibles, los medios de extinción que ya se encuentran en la emergencia, barreras naturales y la red de caminos. Con ello se obtiene la herramienta para poder reducir el incendio y la exposición del personal a él.

Esto pone de manifiesto que no solo es necesario tener un conocimiento del riesgo de un incendio forestal, si no poner a disposición del personal gerente en la emergencia las suficientes herramientas como para poder hacer una óptima planificación. El uso de estas

metodologías tiene por objetivos disminuir la afectación del fuego a la superficie y la salvaguarda del personal que en él trabaja, teniendo en cuenta además los costes y pérdidas económicas.

Rodríguez y González-Cabán (2016) analizan utilidad, productividad y eficiencia de los medios para determinar la forma de gestionar un incendio forestal. Esta metodología busca ayudar a los gestores de la emergencia en la toma de decisiones relacionando los daños evitados y los costes de la extinción, utilizando el índice de gestión y el factor de contracción del área.

1.4. Actualización de la cobertura de modelos de combustible.

Cualquier metodología que quiera estimar el riesgo por incendio forestal, debe tener en cuenta, como mínimo, los componentes que conforman el denominado triángulo de los incendios que serían: meteorología, topografía y combustible. Dado que este último es donde se produce la propagación del fuego, es interesante conocer cómo se caracterizan y se obtiene la cartografía que define qué superficie se asocia a qué modelo.

Actualmente los que más se utilizan son los 13 modelos documentados en *Aids to determining fuel models for estimating fire behavior* (Anderson, 1982), estos modelos a su vez se agrupan en cuatro grandes grupos, en los que se distingue entre: herbáceos, chaparral-matorral, arbóreos y restos. Estos modelos fueron documentados por Anderson, pero fueron desarrollados por varios autores destacando Rothermel (1972), Albini (1976) y Brown (1982), que lo hicieron en años anteriores.

Estos modelos poseen unas características dasocráticas que permite diferenciarlos entre sí, además, cada uno se relaciona con una carga que permitiría estimar el comportamiento del fuego asociado a esa superficie.

En este documento se trabajará principalmente con los modelos UCO40, los cuales se basan en la modelización realizada en 2005 por Scott y Burgan, donde se encuentran los siguientes cuatro grupos: pastos, matorral, hojarasca bajo arbolado y restos de corta de labores selvícolas. Son muy parecidos a los citados anteriormente, pero la diferencia reside

en que estos cuatro grupos se encuentra divididos, de forma que, en el grupo de pastos en que anteriormente había solo 3 categorías ahora existen 11 categorías. En total posee 38 categorías distintas mientras que el UCO40 posee 2 más. Este último sistema no divide en cuatro grandes grupos, sino que se amplía llegando a los seis, diferenciando: Pastizal, pastizal con matorral, matorral, hojarasca con presencia de pastizal y/o matorral, hojarasca con restos y restos.

Los modelos UCO40 surgen para mejorar la resolución de la modelización, incorporando características del combustible mediterráneo, ya que los modelos definidos por Scott y Burgan, representan mayoritariamente las masas presentes en el norte de América.

Sobre la modelización de los modelos de combustible, ocurre algo parecido al análisis del riesgo, algunas comunidades autónomas han generado su propia cartografía no existiendo una a nivel estatal. Esto tiene sentido puesto que no son iguales las masas que existen en el mediterráneo que en zona más septentrionales con clima atlántico.

En Andalucía, la capa existente de modelos de combustibles se basa en caracterizaciones realizadas en base a la cartografía de ocupación del suelo realizada por el Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE). El SIOSE es un sistema de información cartográfica, desarrollado por fotointerpretación e inventarios que integra la información de las Comunidades Autónomas y la Administración General del Estado.

Para obtener esta cartografía se ha realizado una categorización de modelos de combustible tanto de Rothermel como UCO40 según las características que proporciona la capa de usos de suelo del SIOSE.

En Castilla – La Mancha han actualizado la cartografía de modelos de combustible a través de LiDAR, teledetección y Sistemas de Información Geográfica (SIG), por el que han obtenido distintas características dasocráticas y, a partir de las mismas, se ha definido la superficie según los modelos de Rothermel y Scott y Burgan.

Uno de los objetivos de este trabajo es redactar una metodología que permita a través de las nuevas tecnologías crear cartografía actualizada que represente los modelos de

combustible UCO40. Con ello se pretende mejorar los resultados que se van a obtener del cálculo de distintos índices, así como de las simulaciones de incendios forestales.

1.5. Fundamentos y aplicación de la tecnología LiDAR.

Hasta el momento, en Andalucía, la cartografía proporcionada sobre caracterización del territorio, en el caso concreto de los modelos de combustible es proporcionada a partir de datos fotogramétricos en el territorio. Esta división del territorio en distintas unidades de modelos de combustibles se basa en la fotointerpretación sobre imagen de satélite LANDSAT del año 2007.

En este documento se propone una metodología para la actualización de esta cartografía a través de tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging). Se trata de un dispositivo que ofrece medidas de distancia entre el pulso LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) que emite y su recepción, a través del tiempo de retraso y el ángulo. Con esta distancia, la posición en la que se encuentra el dispositivo y su orientación, se determinan las coordenadas tridimensionales del punto con una exactitud elevada.

Se pueden distinguir dos tipologías de LIDAR dependiendo de la plataforma en la que se fije: el terrestre (TLS, Terrestrial Laser Scanner) y el aéreo (ALS, Airborne LiDAR System). En nuestro caso trabajaremos con el aéreo ya que es el que se encuentra a disposición libre en el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

El LIDAR aerotransportado consta de una aeronave para poder sobrevolar el territorio en estudio, el sensor LIDAR que emite los pulsos láser hacia la superficie, recibe la señal de retorno y mide el tiempo de regreso además de asociarle un ángulo de escaneo. Además de un receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) para conocer la posición de la aeronave, un sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) para tener información acerca de la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales que existen en la aeronave en unos intervalos de tiempo menores al GNSS y el ordenador de abordo que guarda los datos producidos sin procesar. Es normal que también incorporen una cámara digital para obtener información del color de la superficie (Lohani et al., (2017)). Con la tecnología y avances en

los sistemas para una georreferenciación precisa y exacta como los que se han comentado es posible obtener del LIDAR nubes de puntos 3D (Heipke, 2002).

La tecnología LIDAR en su comienzo solo registraba un retorno por pulso emitido, pero en la actualidad se trabaja con sensores LIDAR multi retorno capaces de captar hasta seis retornos a partir de un único pulso (Wang et al., 2020). Esto permitió demostrar que con los datos obtenidos de la onda se podía hacer un análisis de la vegetación (Dubayah et al., 1999), ya que el LIDAR permite con los distintos retornos (o penetración de la señal) obtener información a distintos niveles. Hasta ese momento era imposible obtener esta información con imágenes aéreas o de satélite, es por ello por lo que el LIDAR está introduciéndose en sectores hasta el momento impensables.

El campo de aplicación de esta tecnología es cada vez más amplio, destaca su utilización para localizar y estudiar la arquitectura maya (Chase et al., 2020)), en vehículos autónomos (Schleuning et al., 2020), parametrización de vientos (Chen et al., 2020), así como en categorizaciones del suelo (Micheletto et al., 2020) y predicciones de biomasa (Saarela et al., 2020).

Existen estudios que han utilizado los datos LiDAR para la clasificación de modelos de combustible. En (Moran et al., 2020) emplean datos LiDAR junto con imágenes Landsat e información topográfica de las superficies para obtener información que les permite definir las características del combustible arbóreo. En (Mutlu et al., 2008) realizan una modelización de los 13 modelos de Anderson (comúnmente conocidos de Rothermel) con información de vuelos LiDAR junto a imágenes satelitales de alta resolución (QuickBird). Dentro del territorio español (Marino et al., 2016) realizaron una modelización de los 13 modelos de combustibles en la provincia insular de Las Palmas con información de Landsat 8 y vuelos LiDAR generando una cartografía de alta precisión y bajo coste, puesto que los vuelos LiDAR de España están a libre disposición en el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda urbana y las fotografías de Landsat se pueden obtener en distintas páginas de acceso libre.

Como se puede observar la información obtenida con LiDAR se complementa con información espectral. Se usa LiDAR para obtener datos a través de la interpolación de la

nube de puntos, para generar información de la superficie, como puede ser Modelos Digitales del Terreno (MDT), Modelos Digitales de Superficies (MDS) y Modelos Digitales de Vegetación (MDV). Esta última capa es obtenida realizando una resta, siendo el MDS el minuendo y el MDT el sustraendo, además proporciona una capa normalizada al encontrarse todos los puntos sobre una línea recta lo que permite comparar alturas de distintos estratos y zonas con mayor facilidad.

La combinación con información espectral proporciona a la metodología un desacierto menor, ya que, al incorporar al análisis tridimensional, esta información extra permite hacer una clasificación más diferenciada que de otra manera no sería posible (inclusión dentro de la matriz, la tipología de uso de suelo, especies representativas...).

También se destaca la capacidad de hacer comparativas entre datos LiDAR multitemporales lo que permitiría esclarecer que acciones se han realizado en un territorio (desbroce, claras, clareos...) y crecimiento de la masa (Kaiguang et al., 2018).

La evolución de la captura de datos hacia sistemas digitales permite realizar procesos de manera automática y sistemática. Los avances obligan a generar metodologías que se adapten a estas nuevas tecnologías y a la combinación entre ellas, con las consiguientes mejoras en la resolución de los datos. Estos antecedentes dan pie a la posibilidad de generar una metodología que permita clasificar los modelos de combustible UCO40 a través de la tecnología LiDAR e imágenes satelitales o información obtenida a través de estas.

1.6. Objetivos.

Como se ha planteado en el texto, existen varias metodologías innovadoras para poder calcular el peligro y la dificultad de extinción, por tanto, el objetivo de esta Tesis Doctoral ha sido analizar el conjunto de estas nuevas técnicas, estudiando las ventajas en la combinación de estas. Además de desarrollar una metodología que permita realizar una clasificación de los modelos UCO40 a través de tecnología LIDAR, con la conveniente actualización de la cobertura territorial comparando los resultados obtenidos con la capa empleada hasta el momento.

En este trabajo se han empleado datos públicos a disposición de todas las administraciones y entidades públicas, esto proporciona otra posibilidad de utilidad de estos datos y que emanan de una necesidad específica del sector forestal que requiere más que nunca una actualización de coberturas.

Este planteamiento general se concreta con los siguientes objetivos:

- Generar una metodología avanzada que permita la caracterización de los modelos de combustible UCO40 con tecnología LIDAR para así actualizar la capa de modelos de combustibles.
- Definir un algoritmo que permita obtener la densidad aparente de copas para la especie *Pinus pinaster* con tecnología LIDAR, lo cual permitirá tener datos precisos del comportamiento del fuego de copas al ser este parámetro uno de los necesarios en los distintos simuladores para su cálculo.
- Evaluar las actualizaciones realizadas en la obtención del riesgo, peligro y dificultad de extinción en la superficie comparando las distintas situaciones que se pueden dar en el territorio.
- Aplicación de la metodología para conocer la distribución en el territorio de las variables, entre las que se encuentra el valor económico de los recursos y bienes existentes en la zona, que una vez conocidas permitan redistribuir de manera eficiente los recursos además de servir de apoyo para la generación de modelos matemáticos.
- Desarrollar un procedimiento para la división de la superficie a través de los PODs, generando algoritmos que permitan conocer el número y dimensiones superficiales que la comarca de estudio requiere para así ver las mejoras que proporciona con respecto a su aplicabilidad hasta el momento.

Zona de estudio y datos empleados

2. Zona de estudio y datos empleados.

2.1. Zona de estudio.

Para el desarrollo de este trabajo se ha seleccionado un grupo de montes en el noreste de la provincia de Jaén. Se encuentra concretamente en el Parque Natural Sierra de Cazorla, Segura y las Villas y se denomina “Desde Aguamulas a Montero”, posee una superficie de 9.675,37 hectáreas, se puede observar su localización en el municipio de Santiago – Pontones aunque posee 10 hectáreas dentro del Término Municipal de Hornos, en la provincia de Jaén (Figura 1).

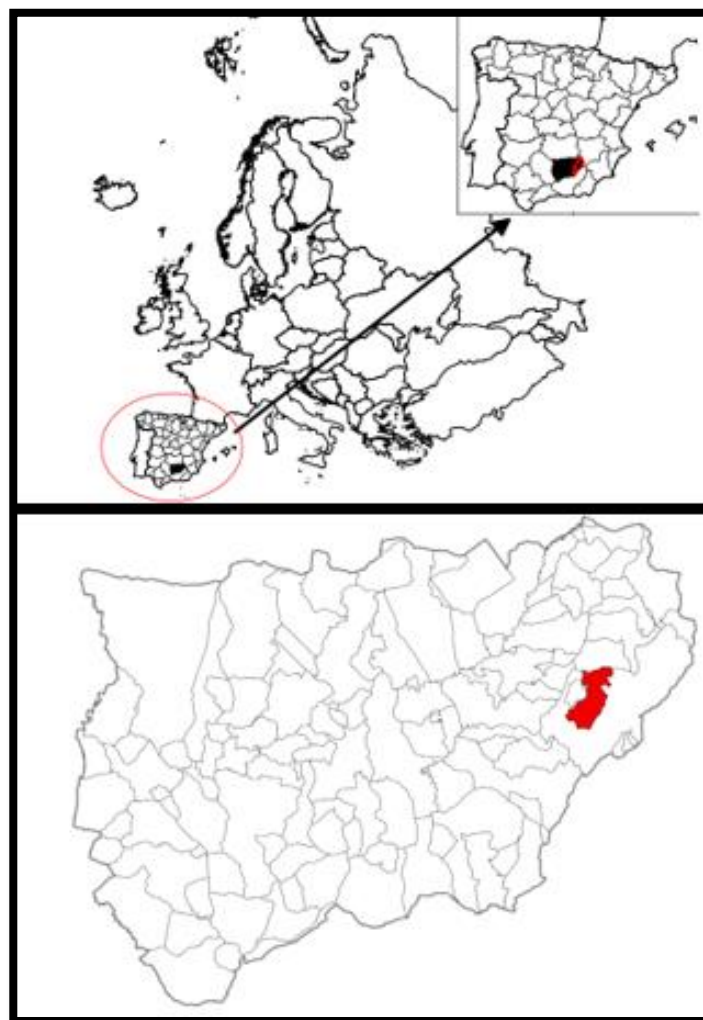


Figura 1: Enclave de la superficie de estudio (rojo) en el Término Municipal de Santiago – Pontones, la provincia de Jaén, España y Europa.

Este monte está compuesto por fincas de titularidad pública, siendo estas las que a continuación se indican: “Cerro de las Canasteras, JA-10027-JA”, “Desde Aguamulas hasta el Arroyo de las Espumaredas, JA-10028-JA”, “Malezas de Pontones, JA-10029-JA”, “Montalvo y Hoya Morena, JA-10030-JA”, “Peña Amusgo hasta el Arroyo de las Espumaredas, JA-10031-JA”, “San Román, JA-10072-JA”, “Fuente del Roble, JA-10074-JA”, “Las Ánimas y Mirabuenos, JA-10125-JA”, “Los Goldines, JA-10205-JA” y las expropiaciones “Entre Montalvo y Los Goldines”, la superficie de esta última, es variable según las fuentes consultadas pero coincide con la zona de transcurso de la carretera A-317.

Los límites del grupo de montes seleccionado son los siguientes:

- Norte: Limita con los montes públicos “JA-70039-AY” y “JA-11014-JA”
- Sur: Limita con el monte público “JA-11045”, destaca su cercanía a la población de Coto Ríos.
- Este: Limita con los montes públicos “JA-11039-JA” y “JA-11032-JA”, además de la cercanía de varias poblaciones: Pontón Alto, El Artuñedo, La Ballestera y el nacimiento del río Segura.
- Oeste: Embalse del Tranco.

Está constituido, en general, por un relieve escarpado, que se hace especialmente abrupto al este. Hay zonas en las que el relieve es mucho más suave, especialmente en las cotas bajas, en las inmediaciones del poblado de Coto Ríos. Las cotas por encima de los 1.500 m se localizan en la mitad oriental del monte, aumentando con la altitud las pendientes del mismo. La altitud oscila entre los 640 m sobre el nivel del mar, en varios puntos a la orilla del Embalse del Tranco, y los 1.760 m. Desde Aguamulas hasta el Arroyo de las Espumaredas (Figura 2), la altitud media es de 1.109 m. Los valles profundos, las pequeñas lomas y las altas cumbres terminan por configurar su orografía. La degradación del suelo en algunas zonas hace que esta, además, sea más abrupta.

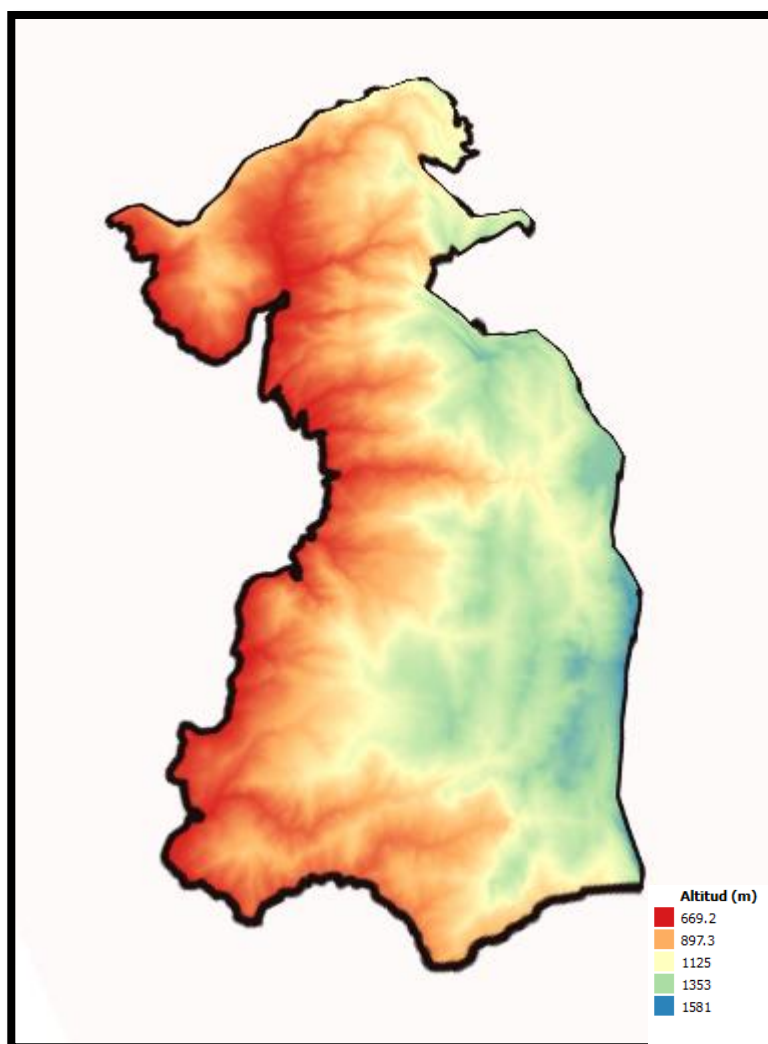
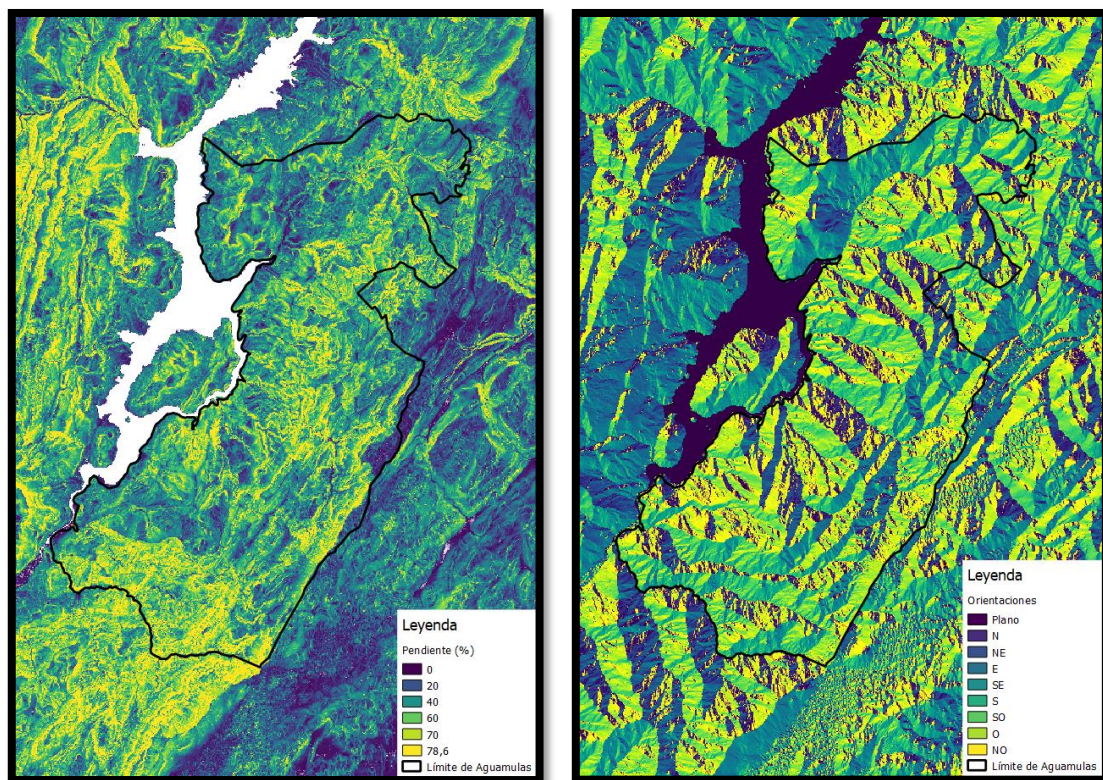


Figura 2: Mapa de alturas en 3D, “Desde Aguamulas a Montero”.

De acuerdo con lo recogido en el Proyecto de Ordenación, la pendiente media es muy elevada, y el 62% de la superficie tiene más del 35% de pendiente (Figura 3 y 4). No obstante, el factor limitante en muchas de estas zonas es, además de la pendiente, el difícil acceso y la escasez de caminos aptos para vehículos a motor. Más adelante será necesario un estudio minucioso de las distintas variables orográficas (pendiente y exposición).



Figuras 3 y 4: Mapa de pendientes y orientaciones, “Desde Aguamulas a Montero”.

La vegetación presente en la zona suele ser *Pinus nigra* Arnold subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco por encima de los 1200 metros, dominando por debajo de esa cota el *Pinus halepensis* Mill., principalmente, además del *Pinus pinaster* Ait..

Por encima de los 1.100 metros destaca la existencia de vegetación xerófila, entre la que se encuentra: cornicabrales, espartales, retamares, romerales y sabinares.

Existen masas de encinares y quejigares acompañados por espinares, acerales y acebedales, encontrándose en zonas con menor cota, donde en el siglo pasado se realizaba la explotación olivarera, que ahora, abandonados, se ha integrado en la vegetación silvestre.

La accidentada orografía de este monte contribuye también a la existencia de numerosos arroyos y pequeños ríos, que se encuentran rodeados por vegetación ripícola y bosques de galería propios. Destaca el abedular del río Segura (cercano a la zona de estudio), se trata de una arboleda singular de *Betula pendula* Roth., que es poco frecuente y solo es posible encontrar en los Pirineos y zonas puntuales de Sierra Nevada y Sierra de Segura.

En la zona existe el árbol singular Encina de la Fuente El Roble, “*Quercus ilex* L. subsp. *ballota* Samp.”.

Entre la flora presente existen 9 especies en peligro de extinción y 17 vulnerables, en las que destaca la *Viola cazorlensis* Gand. Además, gran parte de la superficie se encuentra dentro de algún Hábitat de Interés Comunitario (Comisión Europea (2015)) (Tabla 1) (Figura 4), siendo prioritarios aquellos que después de la numeración posean el símbolo *.

Tabla 1: Hábitat de Interés Comunitario en el monte “Desde Aguamulas a Montero”. Fuente: Comisión Europea.

HICs	Descripción del Hábitat de Interés Comunitario
4090_1	Matorrales almohadillados de media montaña, meso - supramediterráneos, endémicos
4090_0	Matorrales almohadillados fundamentalmente oromediterraneos (casi exclusivo en la provincia de Jaén)
5110_0	Formaciones de <i>Buxus sempervirens</i>
5110_1	Espinares y orlas húmedas (Rhamno-Prunetalia)
53307	Coscojares mesomediterráneos de <i>Quercus cocciferae</i> (Rhamno-Quercion)
62201*	Pastizales vivaces neutro-basófilos mediterráneos (Lygeo-Stipetea)
62202*	Majadales de <i>Poa bulbosa</i> (Poetea bulbosae)
9240_0	Quejigares de <i>Quercus faginea</i> y <i>Quercus canariensis</i>
92A0_2	Saucedas predominantemente arbustivas o arborescentes
92D0_0	Adelfares y tarajales (Nerio-Tamaricetea)
6170	Prados alpinos y subalpinos calcáreos
6310	Dehesas perennifolias de <i>Quercus</i> spp
6420	Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del Molinion-Holoschoenion
7220*	Manantiales petrificantes con formación de tuf (Cratoneurion)
8210	Pendientes rocosas calcícolas con vegetación casmofítica
9340	Encinares de <i>Quercus ilex</i> y <i>Quercus rotundifolia</i>
9530*	Pinares (sud-)mediterráneos de pinos negros endémicos

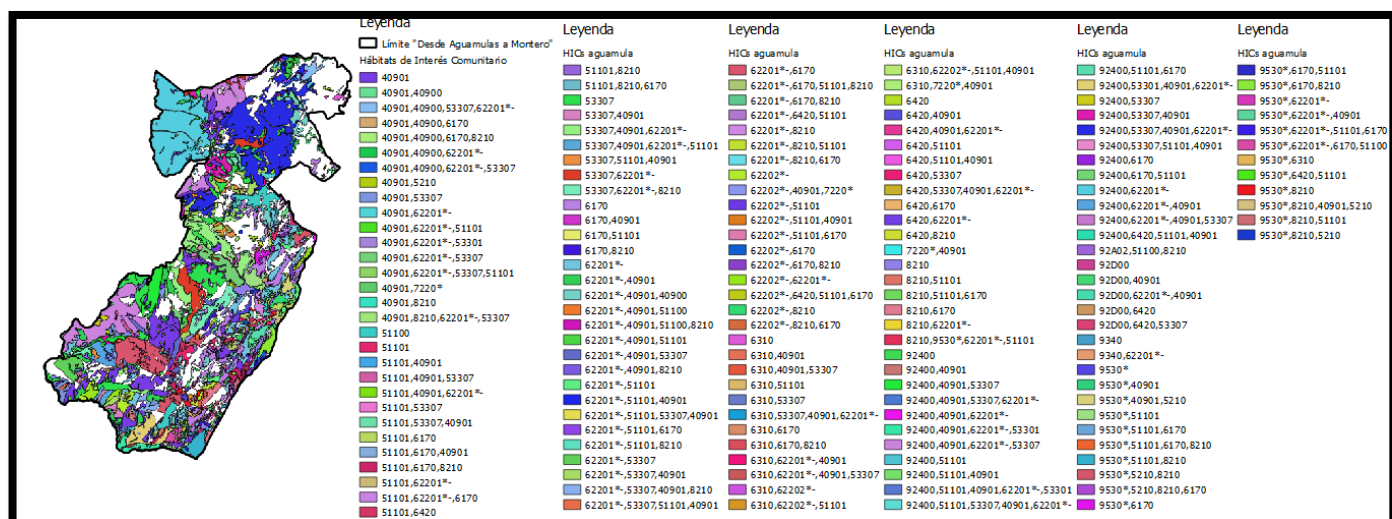


Figura 4: Zonas ocupadas por Hábitats de Interés Comunitario, “Desde Aguamulas a Montero”. Fuente: Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible. Junta de Andalucía.

Desde el punto de vista hidrológico, destaca el Guadalquivir, que bordea toda la vertiente occidental de esta agrupación. Este río nace en la sierra de Cazorla a 1.350 m de altitud, discurre entre las vertientes este, de la Sierra de Cazorla, y Oeste, de la Sierra del Pozo y Segura, hasta formar el embalse de Tranco de Beas, que tiene una capacidad de 498,2 hm³ y una superficie de 1.500 ha, esto hace que sea el mayor de toda la provincia de Jaén.

Como se ha comentado anteriormente la orografía contribuye a la creación de arroyos que vierten sus aguas al Guadalquivir, entre los que destacan por su entorno el Aguamulas, el Canalejas y el Grajas. De sur a norte siguiendo el curso del río Guadalquivir se encuentran el arroyo de la Campana, el río de Aguamulas, los arroyos del Hombre, de las Grajas, de las Canalejas, de las Espumaredas, del Lobo, del Cañete, Frío y de Montero (Figura 5).

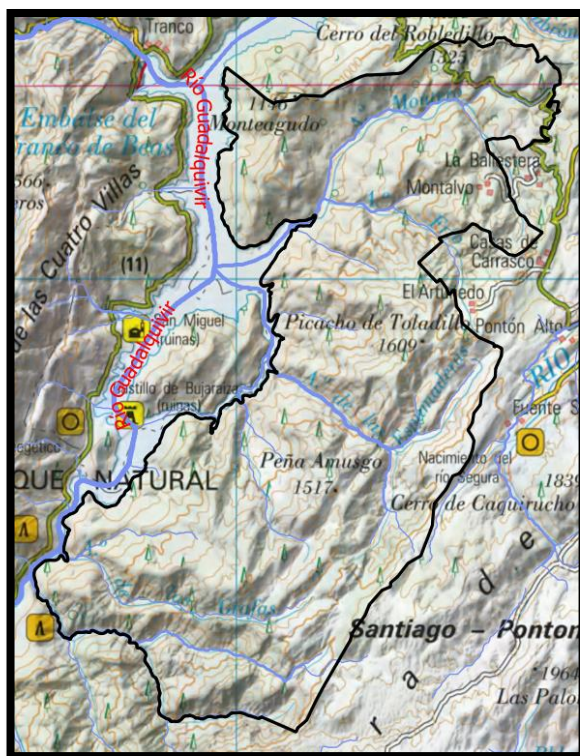


Figura 5: Mapa de recursos hídricos, “Desde Aguamulas a Montero”.

Los datos meteorológicos han sido obtenidos de la estación meteorológica sita en Chiclana de Segura, con coordenadas en el sistema de referencia ETRS89 UTM30: X: 500305; Y: 4239420; puesto que la misma es la más cercana a la superficie de estudio.

Los datos que insertados en la tabla 2 y figura 6 corresponden a registros de los meses junio, julio y agosto para las horas más desfavorables entre las 12 y las 17 horas.

Tabla 2: Temperaturas máximas y humedades mínimas.

Año	Temperatura Máxima (C°)	Humedad Mínima (%)
2009	42,19	6,71
2010	40,5	7,92
2011	41,01	6,63
2012	44,45	5
2013	41,06	10,74
2014	40,74	6,04
2015	42,74	4,97
2016	40,35	5,03
2017	44,22	3,57
2018	41,31	5,19

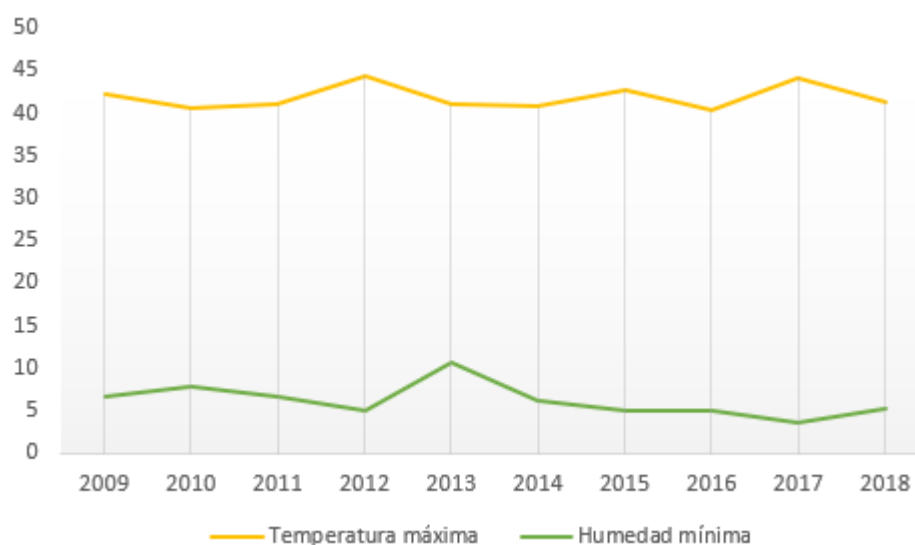


Figura 6: Gráfico de Temperatura máxima y humedad mínima anual.

La velocidad media se sitúa en un intervalo entre 1,84 y 1,13 m/s, con rachas máximas de 17,88 m/s en el peor de las situaciones. La dirección modal del viento oscila entre los 269,94° y los 178,19°. Los datos recogen el mismo periodo de tiempo y rango que los de la tabla anterior.

Además, también se dispone de datos de estaciones antiguas situadas en los T.M. de Cazorla y Siles entre los años 2000 y 2004, en el que la velocidad modal del viento registró valores entre 2,4 y 1,6 m/s.

En el presente monte existen varias figuras de protección (Figura 7):

- Reserva de la Biosfera (Programa MAB de la UNESCO) en 1983.
- Parque Natural (Red de Espacios Protegidos de Andalucía) en 1986.
- Reserva Andaluza Cinegética (Ley 8/2003, de 28 de octubre, de la flora y la fauna silvestres) en gran parte de la superficie.
- Incluido en la lista de Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) en 2006 y revisada en sucesivas ocasiones.
- En 2017 fue declarada Zona Especial de Conservación (ZEC).

Otras figuras:

- Incluido en la Red Natura 2000 en aplicación de la Directiva Hábitat (Directiva 92/43/CEE del Consejo, relativa a la conservación de hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres) como:
 - Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) en 1988 (Directiva 79/409 de la CEE, relativa a la Conservación de las Aves Silvestres). 2003
- Adherido a la Carta Europea de Turismo Sostenible (CETS) en 2004 y renovada en 2010.

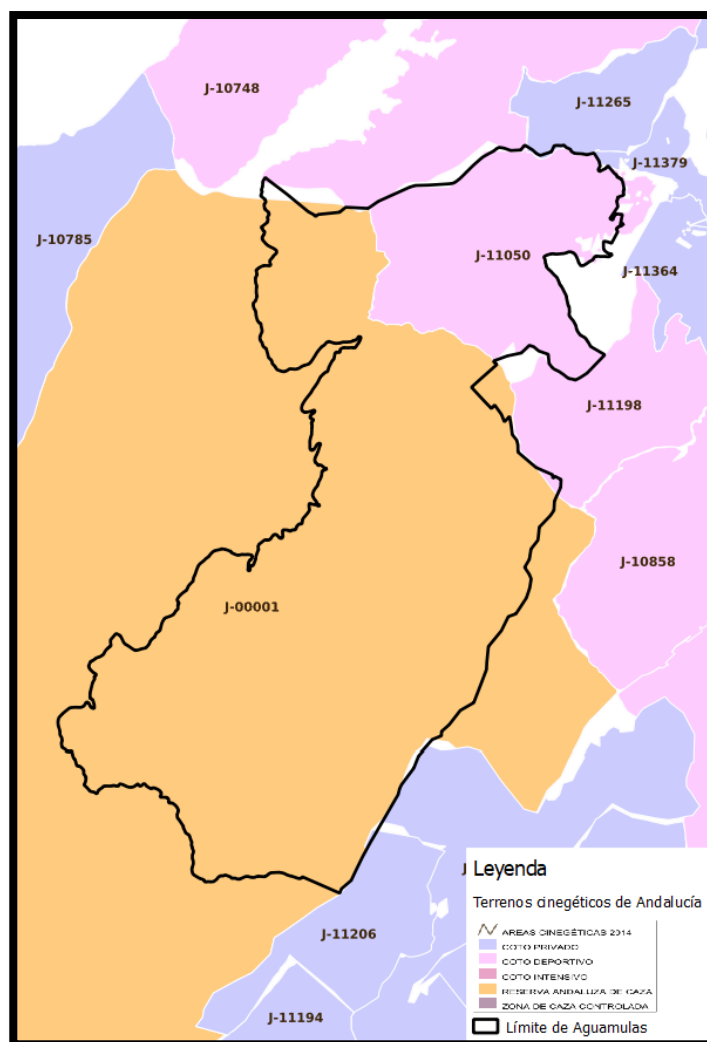


Figura 7: Mapa de terrenos cinegéticos, “Desde Aguamulas a Montero”.

2.1.1. Incendios forestales en la zona de estudio.

La superficie objeto de este trabajo no ha sufrido ningún incendio de gran magnitud según el histórico de la Junta de Andalucía desde el año 1975 a 2019, pero resulta interesante la cercanía con el incendio de 2005 en la ladera opuesta a la zona de estudio con una superficie total afectada de 5.443,1 ha (Figura 8). Por consiguiente, el incendio más significativo sería el del año 2005, con una gran extensión. La causa fue una tormenta eléctrica en época estival, lo que originó un gran número de focos activos, la orografía y las condiciones meteorológicas fueron favorables lo que facilitó su propagación. Este incendio vio limitado su avance gracias al camino perimetral existente que permitió a los medios llegar y actuar.

El grupo de montes también se vio perturbado por ese incendio, pero de una manera mínima al conseguir extinguirse el foco generado por salto de pavesas con gran rapidez. Tanto este incendio, como el del año 2015 en Quesada, que también se encuentra enclavado en el mismo Parque Natural, fueron iniciados por rayos debidos a tormentas secas de verano.

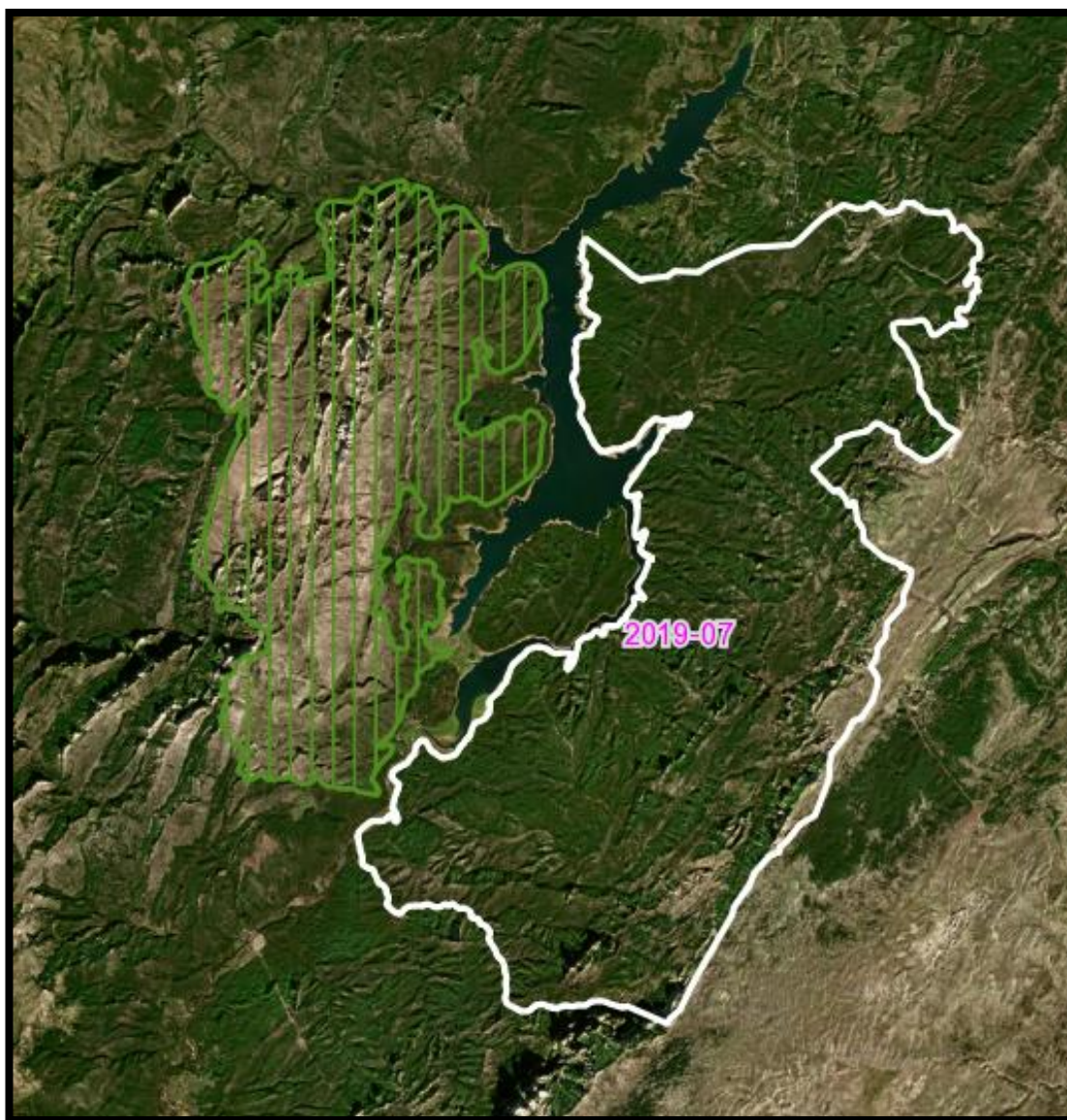


Figura 8: En blanco se representa el perímetro del incendio del 2005 y en blanco el límite de zona de estudio.

Actualmente la causa antrópica no figura como factor de ignición de ningún gran incendio en la zona, pero destaca el aumento del turismo. Según el Plan de Desarrollo Sostenible (PDS) del Parque Natural los meses de verano son en los que más turismo recibe. Según la información disponible en el Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía para el intervalo de años 2014 - 2016 y en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre se constata el incremento del número de visitantes al Parque Natural (Tabla 3).

Tabla 3: Número de visitantes por año en los meses más influyentes en el P.N. de Cazorla, Segura y Las Villas.

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
2014	2.898	6.369	14.230	3.329
2015	2.295	7.026	14.155	2.977
2016	3.350	7.697	14.616	3.712

Como se puede observar existe una tendencia creciente, sobre todo en los meses centrales del verano Julio y Agosto. Este aumento en los visitantes afecta al riesgo por incendios forestales, en una época, que por las condiciones meteorológicas (temperaturas más altas y menor humedad) hace que sea más probable el inicio de un incendio.

2.1.2. Defensa contra incendios forestales.

Con respecto a la prevención de incendios, toda la superficie posee un Plan Quinquenal de Prevención de Incendios Forestales, elaborado y en aplicación por parte de la Consejería de Agricultura, Pesca, Ganadería y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía en todos los montes de titularidad pública. En la agrupación de montes existen infraestructuras siendo su cuantía de 11,58 ha de fajas auxiliares y 139,68 ha en áreas cortafuegos, además de una torre de vigilancia (Figura 9):

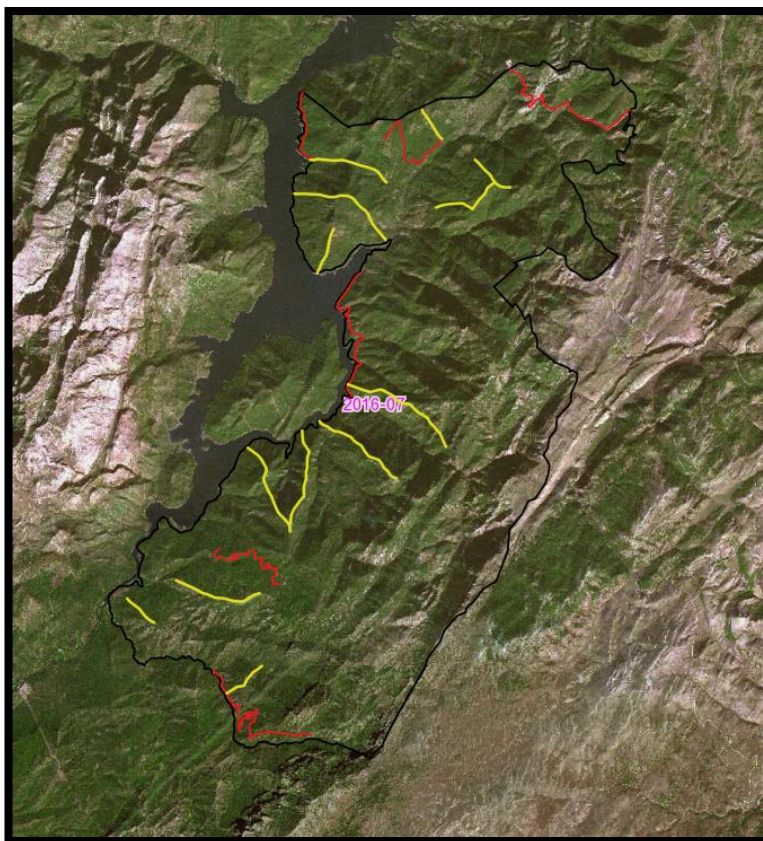


Figura 9: Localización en rojo de las fajas auxiliares y en amarillo de los cortafuegos.

Destaca que desde el año 2000 se vienen realizando periódicamente actuaciones de selvicultura preventiva en la zona de estudio, seguramente debido a la Ley 5/1999, de 29 de junio, de Prevención y Lucha Contra los Incendios Forestales. En el año 2007 fue incorporado el uso del pastoreo controlado, aparte del beneficio que genera mantener estas infraestructuras en condiciones adecuadas, se añade el beneficio de carácter socioeconómico en el entorno rural de esta actividad.

Las infraestructuras existentes se mantienen así desde el año 2007, cuando se redactó el proyecto de prevención de incendios forestales. No se conoce qué método fue utilizado para realizar el análisis de riesgos, pero se puede suponer que fue seguido el método ilustrado en el Plan INFOCA. Posteriormente en cada uno de los Proyectos de Ordenación se han mantenido dichas infraestructuras tal y como se encuentran actualmente.

Desde el 2006 el método que se explica en el Plan INFOCA ha sido complementado con la

incorporación de nuevos parámetros que son relevantes para la obtención de un mejor análisis del riesgo y por tanto de la prevención (Figura 10).

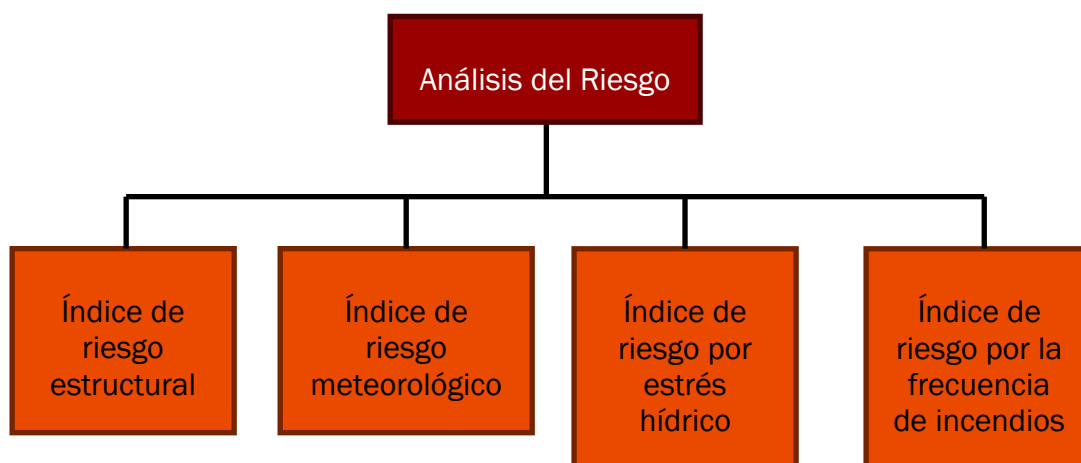


Figura 10: Esquema del análisis del riesgo ilustrado en el Plan INFOCA (Decreto 371/2010, 14 de septiembre, Junta de Andalucía).

Materiales y métodos

3. Materiales y métodos

3.1. Materiales

Los materiales utilizados para el desarrollo de la presente tesis doctoral de incluyen en la tabla 4.

Tabla 4: Materiales utilizados.

Herramientas	Software	Información
-Ordenador	-MAGNET Tools	-Inventario Nacional Forestal.
-Hipsómetro Vertex IV	-ArcMap, versión: 10.2	-Vuelos LiDAR del Plan Nacional
-GPS TOPCON GMS-2	-QGIS, versión: 2.18.28	de Ortofotografía Aérea (PNOA)
-Vehículo Todoterreno	-FlamMap 5	-Bibliografía
-Cinta π	-Microsoft Excel	
-Estadillos de campo	-WindNinja	
-Barrena de Pressler	-Visual Behave	
-Cintas métricas	-FUSION	
	-LASTools	
	-R studio	
	-VisualFUEGO	
	-Visual Peligro	

3.1. Metodología

3.1.1. POD

La zonificación de la superficie en estudio en unidades más pequeñas es inevitable dada la extensión de esta, pero además está en los objetivos establecidos en la tesis, con el fin de generar un protocolo de división territorial, que respaldado científicamente, ayuda a la determinación de prioridades de defensa y protección frente a los incendios forestales.

Como se ha comentado en apartados anteriores, una de las variantes a la metodología que se pretende aplicar es la forma de realizar la zonificación para obtener los distintos índices. En el trabajo desarrollado en los anteriores artículos la superficie total para el cálculo de cada índice se correspondía al área ocupada por cada cuadrado de 1 kilómetro por 1 kilómetro formando una cuadrícula que se extendía en el total del área de estudio (Rodríguez et al., 2014) (Rodríguez et al., 2020).

Este tipo de distribución pese a ser fácil de aplicar y que obviamente da una idea previa de cuál sería el valor medio de los índices a obtener, supone algunas desventajas. Una de ellas es que los límites de esta cuadrícula dividan modelos de combustibles encontrándose el mismo en dos cuadrados distintos. Al calcularse los distintos valores en esas superficies se puede dar el caso que una superficie continua y homogénea que conformaría un modelo de combustible y que poseería un único valor quede representado en cada cuadrícula como la porción del índice, algo que no sería muy adecuado. Por lo tanto, agrupa superficies muy extensas que no tienen por qué ser homogéneas.

También hay que tener en cuenta que los operativos de extinción cuando trabajan en un incendio forestal suelen ubicarse en las fronteras entre dos modelos de combustibles diferenciados (pastizal-matorral, matorral-arbolado o pastizal-arbolado) o en zonas con un fácil acceso (sendas, caminos o carreteras) que en muy pocos casos coincidirá con los límites diseñados en la cuadrícula.

Pero sin lugar a duda si se comienza el estudio en una zona que no se conoce en profundidad, es un buen procedimiento el dividirla en unidades más pequeñas y manejables. Esta cuadrícula puede ser el paso previo a la aplicación de la división en unidades más pequeñas y homogéneas, ya que nos permite conocer las divisiones del territorio en profundidad por lo que la siguiente división que no será en base a polígonos regulares, si no a otros criterios es mucho más fácil para el técnico encargado.

Para definir unos límites más adaptados al medio, que sean flexibles y que contengan zonas homogéneas, ha sido aplicada la metodología POD, que proviene del inglés “Potential wildlandfire Operational Delineations”. Esta división del territorio es un procedimiento desarrollado por Thompson et al. (2016).

Se definen como superficies donde el riesgo y el manejo del fuego es homogéneo, en algunos casos puede identificar zonas donde se han proyectado tratamientos selvícolas que generarían cambios en los niveles del riesgo y respuesta.

Thomson et al. (2016) tuvieron en cuenta las cuencas debido al cambio de combustibles, de meteorología entre una y otra y la diferencia de elevación, pero dejaron lugar una delimitación más sofisticada al ser posible delinear por cursos de aguas, carreteras, zonas áridas que permitirían que operaciones de extinción se pudieran realizar sin riesgo.

Así la determinación de los límites de los POD es un proceso complejo que no está realmente fijado a una definición exacta sino más bien, cada persona que lo utilice, debe de definirlo en base a algunas preguntas que se realicen con respecto a la zona de estudio, preguntas tipo: ¿sería posible definir la respuesta ante un fuego en distintas localizaciones? y/o ¿tengo información de incendios que hayan acaecido en la superficie? y/o ¿cómo y porqué sería la respuesta de extinción diferente en esa área?, etc.

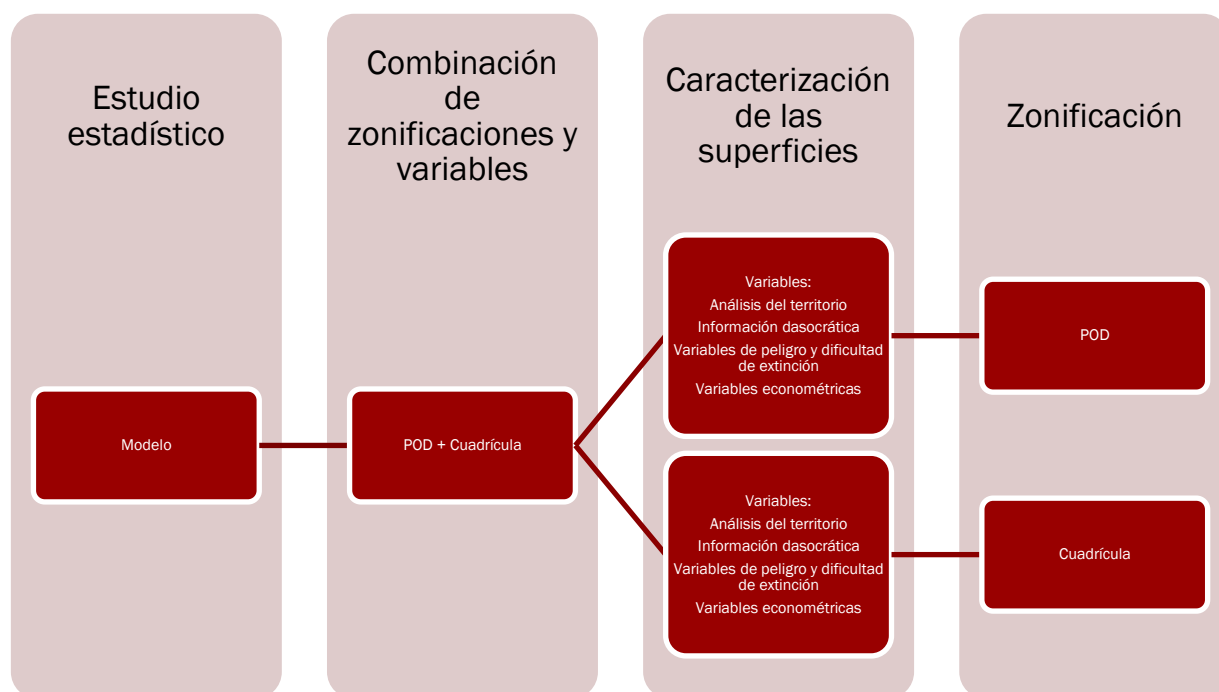
Hay que aclarar que los límites de los POD no son fijos y permiten variaciones, la distribución que se realice en gabinete no tiene porqué adaptarse a la realidad y cuando se visita la zona de trabajo, es posible que se puedan ver localizaciones mejores. Es indispensable tener conocimiento de la superficie, no solo por los datos recogidos en gabinete, sino también en campo. Esta idea implica la realización de un “pre-muestreo” de forma similar al procedimiento seguido en la elaboración de un inventario forestal. Aunque pudiera recordar a la zonificación realizada en un Proyecto de Ordenación, donde se denominan cantones a las unidades últimas de información del medio, esta zonificación no es igual al no perseguir los mismos objetivos.

En el contexto de la elaboración de esta tesis doctoral no existe una información relevante respecto a la delimitación de contornos, por ese motivo la superficie ha sido analizado mediante rasgos físicos y ambientales como son: los modelos de combustibles, cuencas hidrográficas, caminos, carreteras e infraestructuras de incendios.

Al observar que no existe una metodología que permita conocer el número de POD que se pueden establecer en la comarca, así como su tamaño, se desarrolló un procedimiento aplicable a cualquier superficie objeto de análisis y estudio. De acuerdo a la metodología visual de división del territorio, se obtuvieron el número de POD. Aprovechando

esta tesis se pretende avanzar en el desarrollo metodológico para la determinación espacializada de los POD. Hasta la fecha, la definición de los contornos operacionales (POD), son definidos sujetos a la interpretación subjetiva del usuario, en este sentido y en la idea de incorporar un criterio decisional compensado, se viene trabajando su aplicación en Estados Unidos, a través de sesiones grupales en las que los gestores de la zona objeto de estudio, determinan de forma participativa, el acuerdo de conjunto que les permite fijar el establecimiento de los polígonos POD. Siendo ello, un importante avance basado en el consenso interpretativo de las variables que son utilizadas para definir los perímetros se ha creído necesario en el contexto de las investigaciones de la presente tesis, desarrollar un protocolo para la zonificación a partir de celdas regulares que van a permitir estudiar con profundidad las características que ayudarán a definir las superficies y límites de los POD. Para ello se obtuvieron diversidad de variables respaldadas estadísticamente para poder caracterizar la definición de POD, así como el diseño de la malla de cuadrículas en términos de gestión de incendios forestales. El diagrama de flujo para generar los modelos matemáticos es el siguiente (Figura 11):

Figura 11: Diagrama de flujo para la generación de los modelos relacionados con la zonificación.



Ante esta circunstancia se ha procedido a analizar la oportunidad que nos brindan las parcelas de muestreo realizadas en el territorio para generar una malla previa a la generación de los POD. En primer lugar, se realizó un pre-muestreo de 12 parcelas con un radio de 20 metros para conocer la variabilidad de la masa forestal, la definición de las parcelas y los datos obtenidos se pueden consultar en el apartado 3.3.1., ya que este inventario fue utilizado en profundidad para la elaboración de un modelo que permitiera conocer la densidad aparente de copas (CBD) de la masa de *Pinus pinaster*. Conocida la densidad de pies en esas 12 parcelas, se realizó el estudio estadístico para determinar el número de parcelas totales necesarias para conocer el número total de parcelas necesarias para cumplir con la probabilidad fiducial del 90%, el número obtenido fue de 28 parcelas. Los cálculos estadísticos que confirman estos datos se pueden consultar en el apartado 3.3.2.

Apoyándonos en estas parcelas se ha realizado un muestreo para conocer la variabilidad de los rangos de cargas de combustibles (Kg/m^2) existentes de los combustibles tanto superficiales como aéreos. En este caso las parcelas se ampliaron hasta los 40 metros de radio y se realizaron 4 transectos según los puntos cardinales, en cada transecto se dictaron 3 medidas (estas observaciones van del 1 al 5, se puede observar las cargas que caracterizan los rangos en el Anexo 1) lo que hace un total de 12 datos sobre rangos superficiales, Obteniéndose el rango de carga de combustibles superficiales de la parcela haciendo una ponderación por pesos.

Los rangos de carga de combustibles en el dosel arbóreo fueron generados a partir de la longitud de copa de los árboles y la asignación de carga de estos según el “1º Inventario de sumideros de CO_2 en Andalucía”, el cual relaciona clases diamétricas (CD) con kilogramos presentes en parte aérea del árbol. En cada parcela se calculó el diámetro normal medio para cada especie arbórea existente en ella y se realizaron interpolaciones para obtener el peso más cercano a dicho diámetro. Conocidos estos datos se procedió a la división de la carga entre la longitud de copa, asignando según los valores obtenidos, una clasificación del rango del 1 al 5.

Para obtener finalmente los rangos de las parcelas se utilizó la siguiente expresión por armonización matemática (Eqn 1):

$$Rango\ parcela = \frac{(1,5 * R.S. * R.A.)}{(R.S. + 0,2 * R.A.)} \quad (1)$$

Siendo:

- R.S.: Rango del combustible superficial (1 al 5).
- R.A.: Rango del combustible aéreo (1 al 5).

Como resultado de los cálculos se obtuvieron los siguientes valores (Tabla 5):

Tabla 5: Rangos obtenidos por parcela inventariada.

Parcela	Rangos superficie	Rangos copas	Rango parcela
1	3,25	1,85875309	2,50194512
2	3,25	1,42266649	1,96221073
3	4,41666667	2,39711116	3,2435811
4	4	1,86112076	2,55401465
5	2,33333333	0,98236227	1,35910352
6	1	1,2941312	1,5420689
7	1	1,35918946	1,60302205
8	1	1,58242679	1,80301298
9	4	1,44570131	2,02236517
10	4	1,84735102	2,53671626
11	4	2,53256316	3,37187093
12	3,75	1,74838464	2,39888746
13	2,75	1,59165421	2,13978673
14	4,58333333	1,86295463	2,58434399
15	4,33333333	1,59385808	2,22696557
16	1,75	1,2668614	1,65995667
17	2,08333333	0,90323454	1,24674584
18	2	1,5854156	2,05268718
19	2,08333333	1,35879639	1,80300287
20	1,08333333	1,10981523	1,38164004
21	1,83333333	1,41308557	1,83652

Parcela	Rangos superficie	Rangos copas	Rango parcela
22	2,83333333	0,87441798	1,23537515
23	2,83333333	0,95741039	1,34520412
24	4	2,11955973	2,87468615
25	1	1,33086899	1,57664255
26	1	1,34143889	1,58651559
27	1	0,81223815	1,04809645
28	1	0,86906299	1,1105644
Coeficiente de Variación			0,3206
Desviación típica			0,6253
Media			1,950

A partir de esta información se calculó el número de celdas necesario con la siguiente expresión matemática (Eqn 2):

$$n = \frac{t^2 * CV^2}{\varepsilon^2} \quad (2)$$

Siendo:

- t: t de Student.
- CV: el coeficiente de variación, en tanto por ciento.
- ε : el error de muestreo admisible, en tanto por ciento.

Primero se obtiene una aproximación del número de parcelas utilizando la fórmula anterior con un valor de t igual a 2, en el cual se obtuvieron 41,79 parcelas, que se redondearon a 42 parcelas. Con este dato se confirmó si se trataba de una población infinita o no para lo cual se empleó la siguiente expresión (Eqn 3):

$$\frac{n}{N} < 0,05 \text{ población infinita} \quad (3)$$

Siendo:

- n: número de parcelas.
- N: superficie del monte, en m², dividido entre la superficie de una parcela, en m².

El resultado fue 0,0000004 por lo que se trataba de una población infinita y se podía utilizar la ecuación 2 que es la simplificada para estos casos. Para la obtención definitiva del número de parcelas se repitió la ecuación 2, solo que esta vez se ajustó el valor de t, en la cual se obtuvo un resultado de 17,73 parcelas, por lo que se redondeó a 18.

Cada parcela representa $\frac{1}{4}$ del total vértices de una celda perteneciente a la cuadrícula (malla de celdas), por lo que a partir de ahora se las denominará parcelas-vértice. Para definir mejor el número de celdas/cuadrados que formarían las mallas se han planteado los siguientes supuestos:

- Si el resultado obtenido son 6 parcelas-vértice, nos permitiría generar dos parcelas completas (lados continuos) y diez celdas adicionales (líneas discontinuas), lo que hace un total de 12 celdas. De esto se deduce que el número de celdas/cuadrados que se generan son el doble del número de vértices (Figura 12).
- Si el resultado obtenido se trata de un número impar, por ejemplo 5 parcelas-vértice, se generaría una parcela completa (lados continuos) y ocho celdas adicionales (líneas discontinuas), lo que hace un total de 9 celdas. En este caso, el número de celdas es el doble del número de vértices menos uno (Figura 12).

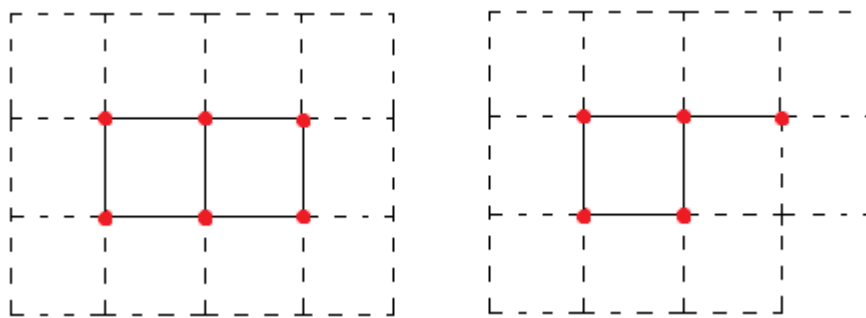


Figura 12: Croquis de la hipótesis de las parcelas-vértice.

Se calculó el lado de la malla cuadrada necesaria con la siguiente fórmula:

$$L = \left(\frac{\text{Sup.del monte (m}^2\text{)}}{n^{\circ} \text{ de parcelas}} \right)^{0,5} \quad (4)$$

Se obtuvo un lado de malla de 2.335,7 metros que fue redondeada a 2.300 metros. Conociendo el lado de cada celda se generó la cuadrícula (malla) sobre la comarca, resultando 35 celdas, según el planteamiento realizado anteriormente. Hay que tener en cuenta también la forma irregular del monte y el correspondiente efecto “borde” puede ser necesario aumentar el número de cuadrículas para que la malla cubra completamente la superficie del monte, comarca o zona objeto del estudio. Hay que tener en cuenta que, de los 35 cuadrados, 14 tenían entre 0% y el 25% de su superficie fuera de la comarca, 4 tenían entre el 25% y 50%, 4 entre el 50 y 75% y 13 entre el 75 y 100% de la superficie sin ocupar por la comarca.

El procedimiento desarrollado en la presente tesis para la poligonización del paisaje forestal ha requerido de dos fases. Una primera de identificación de polígonos POD, siguiendo las recomendaciones propuestas por Thomson (Thomson et al., 2016) y una segunda de intersección de las celdas regulares indicado anteriormente. Al tener la cuadrícula, se conoce la cantidad de POD que hay en cada una de ellas, la superficie que abarca y algunos estadísticos como la superficie máxima, mínima, media y desviación típica. Además de esta información se recopiló otra relativa a: viales, líneas de prevención, perímetros de áreas no combustibles, divisorias, fondos de valle, el índice de peligro potencial, el índice de dificultad de extinción, costes de prevención, valorización de los recursos presentes y las pérdidas producidas en el caso de ocurrencia de un incendio forestal.

Los viales, líneas de prevención, perímetros de áreas no combustibles, el índice de peligro potencial y el índice de dificultad de extinción fueron obtenidos según la información que se encuentra detallada en el apartado 3.2.2.

Para obtener las divisorias y los fondos de valle se empleó ArcGIS utilizando los MDT. Primero se utilizó la herramienta “Fill” para eliminar imperfecciones en el ráster, para establecer la dirección del flujo hidrológico de la pendiente se utilizó la herramienta “Flow Direction”. Una vez calculado esto se determinó la acumulación de flujo en las celdas descendiendo sobre la pendiente con la herramienta “Flow Accumulation”. Después se

utilizó la herramienta “Con” para especificar un umbral para clasificar la acumulación del flujo que en el escenario de trabajo fue de 400, seguidamente se pasó la información a formato vectorial. Con este procedimiento, ha sido generada la información digital de la red de barrancos y arroyos (red de drenaje asociada a fondos de valle). Si fuera necesario determinar una mayor densificación de la red, el número empleado en la herramienta “Con” deberá ser menor, lo que proporcionaría un mayor número de cuencas.

Para calcular las divisorias de los fondos generados se puede localizar los puntos de drenaje de las cuencas, una vez obtenidos es necesario interpolarlo con el MDT mediante la herramienta “Interpolate Shape” y por último con la herramienta “Watershed” usar el ráster creado con la herramienta “Flow Dirección”.

La modelización predictiva de los costes de extinción, referida a un determinado polígono superficial (celda regular o POD), fue determinada por medio de dos procedimientos. Un primer método haciendo uso de la herramienta econométrica MCO (regresión multivariable por mínimos cuadrados ordinarios) (Eqn 5). Y un segundo procedimiento mediante red neuronal de una sola capa haciendo uso de la función sigmoideal (Eqn 6). La base de datos utilizada para la generación de ambos modelos está formada por un total de 644 incendios registrados en Andalucía en el último decenio, cubriendo incendios pertenecientes a las tres clases de modelos operacionales, ataque inicial, ataque ampliado y gran incendio. Las variables explicativas consideradas para la generación de ambos modelos han sido las siguientes: IPMIF (Índice de Peligro Meteorológico de Incendios Forestales) (Rodríguez, 2002), (Rodríguez y Aguado, 2004), IDEX (índice de dificultad de extinción) (Rodríguez et al., 2014, 2020) y la superficie total en hectáreas del polígono donde se ha de determinar la predicción del coste de extinción.

$$\text{Costes extinción modelo} = 1,76 * 10^3 + 2,43 * IPMIF + 755 * Idex + 899 * Sup. total$$

(5)

Siendo:

- IPMIF: Índice de Peligro Meteorológico de Incendios Forestales.
- Idex: Índice de dificultad de extinción.

- Sup. Total: Superficie total del POD.

Para el modelo desarrollado con la red neuronal se usaron de entrenamiento un total de 325 incendios, dejando de prueba 130 y de reserva 189, lo que hace un total 644 incendios analizados, se obtuvo un R^2 de 0,868. Como se muestra en la figura 13 la superficie total del POD junto al índice de dificultad de extinción son las variables que mayor importancia tienen seguidas del índice de peligro meteorológico.

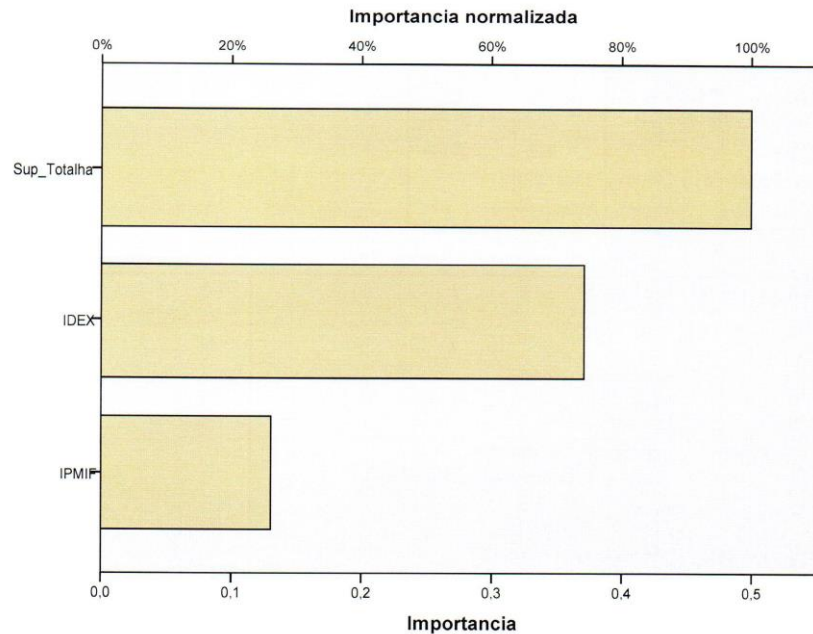


Figura 13: Importancia de las variables utilizadas en la red neuronal.

$$\text{Costes extinción Red} = 2.100,02 + 904,62 * \text{Sup. total} + 722,36 * \text{Idex} \quad (6)$$

El Índice de Peligro Meteorológico fue obtenido con el programa Visual Peligro 4.3.5. y los datos recopilados de las estaciones meteorológicas de Chiclana y de Villacarrillo. La velocidad del viento fue determinada mediante técnica de interpolación espacial por promedios balanceados a partir de los datos registrados para el mismo tiempo por las dos estaciones con la siguiente ecuación (Eqn 7):

$$V = \frac{\sum \frac{v}{a^2}}{\frac{1}{a_1^2} + \frac{1}{a_2^2}} \quad (7)$$

Siendo:

- v : Velocidad del viento en la estación.
- d_1 : Distancia de la estación 1 al punto de estudio.
- d_2 : Distancia de la estación 2 al punto de estudio.

La temperatura y la humedad fue resultado de los promedios de las dos estaciones, la dirección a partir de la moda. El programa además pide información de pendientes y orientaciones que fueron obtenidas a partir del procesamiento del MDT a través de ArcGIS. Obteniendo con toda esta información el índice de Peligro Meteorológico de Incendios Forestales necesario para calcular los costes por el modelo desarrollado.

La evaluación del valor económico de los recursos naturales, tanto tangibles como intangibles, así como las pérdidas producidas en el caso de ocurrir un incendio forestal fueron calculados con el programa Visual SEVEIF que también permite realizar simulaciones de incendios forestales. Este programa se basa en la estimación de la cuantificación monetaria tanto de tangibles como intangibles (Molina et al., 2009, 2013, Rodríguez et al., 2014, 2014a, 2017). El cual proporcionó datos sobre el aprovechamiento de la madera, de las leñas, cinegético, fijación de carbono, biodiversidad, protección del suelo contra la erosión, paisaje, ocio y recreo. Obteniendo los siguientes resultados medios (Tablas 6):

Tabla 6: Depreciación y valor económico real medios estimados en la superficie de los POD.

Variables	Media
Recursos naturales existentes (Depreciación)	
Aprovechamiento de la madera	48.932,48 €
Fijación de carbono	15.102,98 €
Aprovechamiento de leñas	1.280,50 €
Aprovechamiento cinegético	2.960,44 €
Biodiversidad	962,89 €
Protección del suelo contra la erosión	1.968,86 €
Ocio y recreo	15.957,60 €

Variables	Media
Paisaje	18.755,38 €
Total depreciación	105.941,79 €
Recursos naturales existentes (Valor económico real)	
Aprovechamiento de la madera	51.564,88 €
Fijación de carbono	17.295,17 €
Aprovechamiento de leñas	1.558,83 €
Aprovechamiento cinegético	4.017,19 €
Biodiversidad	1.213,81 €
Protección del suelo contra la erosión	8.784,19 €
Ocio y recreo	22.528,24 €
Paisaje	22.410,55 €
Total activo	129.396,23 €

También se utilizó información de los índices de peligro potencial y dificultad de extinción ya que representan características asociadas a los incendios forestales. De hecho, el índice de dificultad de extinción ya ha sido utilizado en O'Connor et al. (2017) en el que fue una de las variables más significativas para definir localizaciones potenciales para el control de un incendio forestal.

3.2.2. Análisis del comportamiento del fuego:

3.2.2.1. Índice de peligro potencial:

Se aplica para ello el índice de peligro potencial desarrollada por Rodríguez et al. (2014), que determina el peligro en base a la combustibilidad de la vegetación, tanto viva como muerta, así como de la influencia que el relieve y la meteorología local ejercen sobre ella. El índice de peligro potencial (Ipp) (Eqn 8) es el resultado de la suma de tres

componentes: Subíndice de ignición (I_{ig}), subíndice de comportamiento dinámico (I_{cd}) y subíndice de comportamiento energético.

$$I_{pp} = I_{ig} + I_{cd} + I_{ce} \quad (8)$$

Subíndice de ignición:

Este subíndice permite conocer la facilidad para comenzar la combustión en el combustible fino muerto acumulado, expuesto en una fuente de calor (Eqn 9).

$$I_{ig} = \left[\sum (P_i + C_i + F_i) \times \frac{A_i}{A_t} \right] \quad (9)$$

Siendo:

P_i : Representa el peso de la probabilidad de ignición del modelo de combustible.

C_i : Coeficiente de ignición característico de cada modelo.

F_i : Ratio de la inflamabilidad (Elvira M., Hernando C. (1989)) de las especies presentes, valor numérico del 1 al 5 representando este último el más inflamable.

A_i y A_t : Área del modelo de combustible y área total del POD.

Para la obtención de la probabilidad de ignición es necesario saber la humedad del fino muerto, esta ha sido calculada por el método que describe el Modelo FBO (Fire Behavior Officer) de Rothermel (1983) para cada modelo de combustible. Para ello se han utilizado los ábacos para la época del año y hora más desfavorable además de los valores promedio de temperatura y humedad relativa a las 12 horas solares. Los datos meteorológicos consultados para obtener la media fueron de la estación de Chiclana de Segura desde el 1 de Abril al 31 de Septiembre del año 2017. Para el ajuste de la humedad ha sido necesario la realización de una capa de pendientes, distinguiendo entre si eran menores o mayores del 30 % y de las orientaciones distinguiendo entre N, S, E y O. También se consultó la base

de datos del Inventario Nacional Forestal, que proporciona información sobre el tanto por ciento de factor de cabida cubierta (Fcc), además del que es facilitado por la capa de modelos de combustible, permitiendo saber si coinciden o, por el contrario, si la zona ha variado, ya que el inventario es posterior a la capa de modelos de combustible, además de confirmar también las especies presentes y con ello determinar su inflamabilidad.

Subíndice de comportamiento dinámico:

Se calcula a partir de la expresión representada a continuación (Eqn 10):

$$Icd = \sum CDi \times \frac{Ai}{At} \quad (10)$$

Para este subíndice es necesario saber la velocidad de propagación sobre cada uno de los modelos, para asignarle un peso (CD_i) por lo que ha sido necesaria la utilización del simulador Visual Behave. Siendo necesarios datos de las humedades de combustibles muertos y vivos, pendiente, velocidad y dirección del viento. Para estos dos últimos datos se ha realizado la media de los datos meteorológicos consultados de la estación de Chiclana de Segura en el mismo intervalo de tiempo que se ha comentado anteriormente. Y se utilizó el programa informático WindNinja (Jason et al., 2020) que permitió obtener una capa de los vientos locales, reflejando su dirección y velocidad.

Subíndice de comportamiento energético:

$$Ice = \left[\sum \frac{2 \times FLi \times HUAi}{(FLi + HUAi)} \times \left(\frac{Ai}{At} \right) \right] \quad (11)$$

Para este subíndice (Eqn 11) es necesaria la información sobre longitud de llama (FL_i) y calor por unidad de superficie (HUA_i) recopilada también en el apartado anterior para el fuego de superficie.

A este último subíndice se le han añadido dos sumandos, que representan el comportamiento energético de fuegos de copas y el de fuegos eruptivos, como explica

Rodríguez et al. (2018) que serían iguales a la ecuación representada en la ecuación 4 pero aplicando datos sobre este tipo de fuegos obtenidos gracias al programa VisuaFUEGO.

En el cálculo del subíndice de comportamiento energético para fuegos eruptivos (Eqn 12), se ve modificado el último multiplicando, no se toma el área del modelo de combustible y el total del POD sino la longitud recorrida por el fondo del valle.

$$I_{cecy} = \left(\sum \left(\frac{2 \times FL \times HUA}{(FL + HUA)} \right) \times \frac{Li}{Lt} \right) \quad (12)$$

Siendo:

Li: Longitud del fondo del valle en el modelo de combustible.

Lt: Longitud del fondo del valle en el POD.

Con ello la fórmula del subíndice de comportamiento energético adopta la siguiente expresión (Eqn 13) que fue desarrollada por Rodríguez et al. (2018):

$$I_{tce} = I_{ces} + I_{cec} + I_{cecy} \quad (13)$$

Las tablas para asignar pesos al comportamiento de los fuegos de copas y eruptivos son distintas que las utilizadas para el fuego de superficie, debido a que esta tipología de incendios tiene un potencial energético mayor que el que se puede encontrar en fuegos de superficie. Por lo que es pertinente que el rango para ellos sea más alto.

Comportamiento energético del fuego de copas.

Para la obtención de los parámetros referentes al fuego de copas se utilizó el programa VisualFUEGO, el módulo de “Transición a fuego de copas” el cual requiere: distancia al sotobosque (m), contenido de humedad de las hojas y carga de combustible superficial consumido (Kg/m²).

Como únicamente se puede dar fuego de copas donde existe una densidad de árboles significativa, se estudió el modelo 7 para la obtención de los parámetros requeridos por el programa.

Se localizaron los puntos de Inventario Forestal Nacional que se encuentran sobre el modelo 7 en la superficie de estudio, localizándose 20 parcelas, de las cuales 14 son de pinar, 1 de encinar y las cinco restantes mezcla de encinar con pinar.

En las zonas con pinar se contrastaron los datos del 3º Inventario Forestal Nacional con la modelización realizada del *Pinus pinaster* en la zona de estudio realizada en el artículo de Molina et al. (2014). Ha sido determinada en 3,8 m la distancia media entre la altura del matorral y la altura base de las copas.

En la zona de encinar se analizaron los datos del 3º Inventario Forestal Nacional, obteniendo la altura del matorral, pero no la altura de la base de las copas, por lo que fue pertinente ir a los mismos puntos del inventario, (replantando los mismos, mediante un G.P.S.), con el fin de realizar la actualización de los datos y la obtención de la altura de la base de las copas haciendo uso del hipsómetro Vertex IV. Obteniendo una distancia entre la altura del matorral y la base de las copas de 0,75 metros, en la figura 14 se puede observar una de las parcelas visitadas en campo.



Figura 14: Foto tomada en una de las parcelas visitadas. Elaboración propia.

En las parcelas donde se encuentran mezcla de pinar con encinar, se pusieron los datos obtenidos del encinar, al ser este el limitante (por ser menor la distancia y por tanto mayor la facilidad para la transición de fuego de superficie a fuego de copas). Para el contenido de humedad de las hojas y carga de combustible superficial consumido se consultó la publicación de Porrero et al. (2009) que permite tener unos valores aproximados según el modelo de combustible.

Con estos datos fue posible ejecutar el programa el cual nos da la intensidad crítica de transición del fuego de superficie al dosel arbolado (Kw/m) y velocidad de propagación (m/min). Posteriormente se detalla las fórmulas necesarias y aplicadas para la obtención del calor por unidad de superficie (Kcal/m^2) y longitud de llama (m).

Comportamiento energético fuego eruptivo.

Para la aplicación del programa VisualFUEGO para fuegos eruptivos fue necesario localizar los barrancos en la superficie de estudio, como se comentó anteriormente la orografía de la zona es bastante abrupta y repleta de cauces, por lo que se delimitaron 26 barrancos, que pueden verse a continuación (Figura 15):

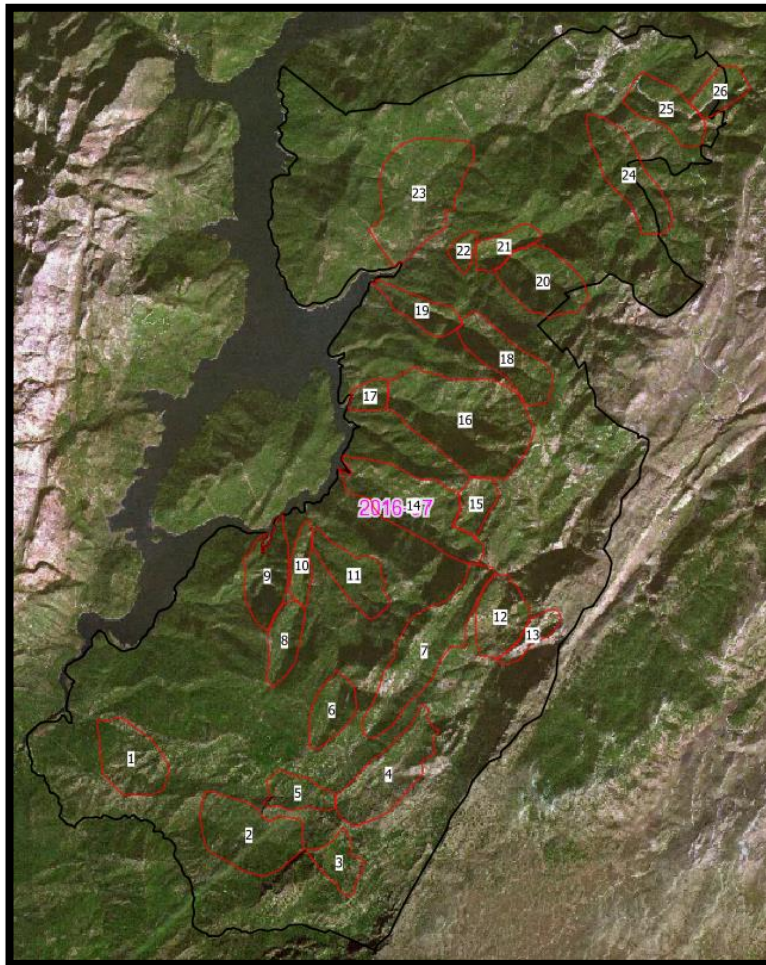


Figura 15: Localización de los barrancos en la zona de estudio.

El programa requiere el ángulo de la ladera y la pendiente del cauce, que con la modificación de los Modelos Digitales del Terreno (MDT) con el programa ArcGIS se pueden obtener. Además, solicita la velocidad del viento (m/s), la cual se obtuvo para cada uno de los barrancos realizando una simulación de los vientos locales con el programa WindNinja para el grupo de montes. Simulación que también fue utilizada para la obtención de la velocidad del viento que requiere el programa para calcular el comportamiento energético del fuego de superficie.

Como ocurre con el fuego de copas, es necesario la obtención del calor por unidad de superficie (Kcal/m²) y longitud de llama (m).

Obtención del calor por unidad de superficie y longitud de llama.

Para la obtención de una valoración cuantitativa de estas dos características de los incendios ha sido necesario aplicar, la siguiente fórmula de Byram (1959) (Eqn 14):

$$I = \frac{H \times W \times r}{60} \quad (14)$$

I: Intensidad lineal en Kw/m

W: Carga de combustible que se consume (Kg/m²)

r: Velocidad de propagación en m/min

H: Calor liberado por la combustión (Kj/Kg)

En ambas simulaciones, tanto para el fuego de copas como para el fuego eruptivo, se obtiene la velocidad de propagación. Faltarían la carga de combustible que se consume y el calor liberado por la combustión, ambos han sido consultados para los distintos modelos de combustible (Porrero et al., 2009), siendo solo necesario el cambio en las unidades en las que se encontraban. El calor por unidad de superficie se obtiene por la multiplicación de estas dos últimas características, la carga que se consume y el calor liberado por la combustión.

Para la obtención de la longitud de llama, se utiliza la fórmula que se indica a continuación (Eqn 15) Thomas (1963), aplicando la intensidad obtenida anteriormente.

$$Lf = 0,0266 \times I^{0,667} \quad (15)$$

Se aplica esta expresión dado que las intensidades obtenidas han sido mayores a 3.500 Kw/m, si hubiesen sido menores, se aplicaría la expresión derivada de las propagaciones de superficie.

Con esto se obtienen los valores necesarios para asignarle pesos a estas dos características y calcular el subíndice de comportamiento energético (I_{ce}) para cada tipología de incendio.

3.2.3. Análisis de la extinción de los incendios forestales:

3.2.3.1. Índice de la dificultad de extinción:

En este índice (Eqn 16) se encuentran representados varios subíndices que representan la penetrabilidad, accesibilidad y movilidad, la capacidad de los bomberos forestales de producir una línea de defensa y la participación de los medios aéreos.

$$SDI = \left[\frac{\Sigma(I_{ce})}{\Sigma(Soi)} \right] = \left[\frac{(I_{tce})}{(I_a + I_m + I_p + I_{ar} + I_c)} \right] \quad (16)$$

Subíndice de accesibilidad:

Este índice representa la densidad viaria que permite el acceso de los medios de extinción en cada uno de los POD. Ha sido necesario consultar el Callejero Digital de Andalucía Unificado, el Proyecto de Ordenación, fotografías aéreas y mapas topográficos de la zona para elaborar una cartografía que reflejara toda la red viaria. En el índice de accesibilidad (I_a) (Eqn 17), se asignan pesos a los metros de red viaria en cada modelo de combustible de cada POD.

$$I_a = \Sigma I_{in} \times \left(\frac{A_i}{A_t} \right) \quad (17)$$

Donde:

- I_{in} : representa el peso asignado en función de la longitud en metros de vías de accesos existentes en el modelo de combustible.

Este índice de accesibilidad es corregido aplicando una clasificación según los distintos niveles de calidad de los viales existentes, como una carretera atraviesa el grupo de montes, se aplica la siguiente expresión de Rodríguez et al. (2012) (Eqn 18):

$$I_m = (\Sigma I_b) \times 0,75 + (\Sigma I_m) \times 1,5 + (I_a) \times 1,75 \quad (18)$$

Siendo:

- I_b : Calidad baja (caminos y pistas forestales).
- I_m : Calidad media (carreteras de carácter comarcal).
- I_a : Calidad alta (autonómicas, nacionales, autovías).

Subíndice de movilidad:

Este subíndice representa la capacidad de los medios de extinción para moverse fuera del viario y utilizar las infraestructuras lineales de prevención de incendios forestales presentes en el monte. Su expresión es igual a la del índice de accesibilidad, tomando en cuenta la longitud de estas superficies presentes en el modelo de combustible, sin un cálculo diferenciando por el tipo de infraestructura como ocurre en el subíndice anterior.

Subíndice de penetrabilidad:

Representa como es el acceso a pie de los bomberos en el área. Se encuentran incluidos en la expresión la pendiente, la tipología de estructura del suelo (de suelto a compacto), orientación, dificultad para el paso debido a los combustibles y sendas pre-combate existentes. Se consultó Rodríguez et al. (2009) y Rodríguez et al. (2014) (Eqn 19).

$$Ip = \left[\sum \left[\frac{(s_i \times d_i \times sh_i + e_i)}{pt_i} \right] \times \frac{Ai}{At} \right] \quad (19)$$

Donde:

- s_i : peso asignado a la pendiente del modelo de combustible.
- d_i : peso para la dificultad para caminar según el modelo de combustible.
- sh_i : peso para la dificultad al paso debido al suelo.
- e_i : peso asignado según la orientación.
- pt_i : peso a las sendas pre combate en el modelo de combustible.

Para la obtención tanto de la pendiente como de las orientaciones se trabajaron los MDT de la zona con GIS. Para la dificultad de paso según el modelo de combustible, se consultó la capa existente de los mismos elaborada por la Junta de Andalucía, la localización de sendas pre-combate aparece reflejado en el Proyecto de Ordenación y la estructura del

suelo se pudo comprobar gracias a la obtención de información tomada directamente en campo, así como la referente a la vegetación existente.

Subíndice de recursos aéreos:

Este subíndice (Eqn 20) incluye tres variables que representan: los helicópteros (I_h), los aviones anfibios (I_{aa}), y los aviones de carga en tierra (I_{la}).

$$I_{ar} = I_h + I_{aa} + I_{la} \quad (20)$$

Para el cálculo del tiempo de descarga, necesario para la asignación de pesos para cada medio de transporte, se ha obtenido la distancia entre el centro del modelo de combustible y la superficie de agua o aerobase, en el caso de los aviones de carga en tierra, además de la velocidad de crucero de cada una de estas aeronaves.

Se consultó el Plan INFOCA actual para localizar medios aéreos cercanos a la zona de estudio. Se localizaron en el CEDEFO de Navalcaballo, el modelo Bell 212 con una velocidad de 185 Km/h, en CEDEFO de El Vadillo el Bell 412 con una velocidad de 220 Km/h, en la pista de medios aéreos localizada en Beas de Segura, el avión de carga en tierra, Air Tractor AT – 802, con una velocidad de 300 Km/h, y por último el avión anfibio más cercano, con base en el aeropuerto militar de Málaga, cuyo modelo es un Canadair CL - 215T con velocidad de crucero de 356 Km/h.

Siguiendo las siguientes expresiones, se obtuvieron los datos de tiempo de descarga (Eqn 21) (Eqn 22):

$$t_{viaje} = \frac{di(m)}{v_{medioaéreo} \left(\frac{m}{s}\right)} \quad (21)$$

$$t_{descarga} (min) = \frac{(2t_{viaje(seg)} + t_{carga (seg)})}{60} \quad (22)$$

Subíndice de apertura de líneas de defensa (Eqn 23):

$$I_c = (\sum(I_{hi} + I_{mi}) \times SC_i) \quad (23)$$

Donde:

- (lh), representa el peso asignado a la tasa de rendimiento en la apertura de líneas de defensa según modelos de combustibles, mediante equipos de especialistas de extinción.
- (lm), representa el peso asignado a la tasa de rendimiento en la apertura de líneas de defensa según modelos de combustibles, mediante maquinaria.
- (SC), representa el coeficiente de ajuste según el tipo de pendiente promedio existente en cada una de las áreas que ocupan los modelos de combustible.

Para saber los rendimientos, tanto con maquinaria, como a mano, ha sido necesario consultar Porrero et al. (2009), con esta información se le asignó un peso a los rendimientos y a la pendiente presente, que ya fue calculada anteriormente.

3.2.3. Simulación de incendios forestales:

Con los índices obtenidos anteriormente se tiene una cuantificación del comportamiento energético del fuego, así como la dificultad de extinción, pero no se obtiene como los posibles incendios forestales avanzarían por el territorio. Con la simulación de distintos puntos de ignición, como de distintas circunstancias meteorológicas, se puede conocer el avance del fuego, junto con su perímetro, la emisión de focos secundarios, interacción del fuego con las infraestructuras en prevención de incendios forestales y vectores de propagación.

Normalmente, los puntos de ignición utilizados para las simulaciones serían puntos de ignición reales de incendios ocurridos anteriormente en la zona de estudio (junto con otros), pero como se comentó anteriormente, la zona no se ha visto afectada por incendios forestales desde 1975.

Así, los puntos de ignición seleccionados, que pueden observarse en la figura 16, para la realización de las simulaciones, han sido elegidos dependiendo de distintos parámetros:

- Como los grandes incendios acaecidos en el Parque Natural Sierra de Cazorla, Segura y Las Villas han sido provocados por rayos, se han seleccionado puntos de ignición en los picos más altos en la zona.
- Estadísticamente la causa de la mayoría de los incendios forestales en Andalucía es por la actuación del ser humano.
- En el área de estudio existen distintos equipamientos turísticos (senderos, miradores) además de poblaciones de pequeña índole, es por ello qué se han localizado puntos de ignición en las zonas aledañas.
- En las vías de comunicación más significativas pueden producirse algún incendio debido a alguna punta de colilla u otra fuente de calor. Como el territorio de estudio se ve atravesado por la carretera A – 317, es pertinente la colocación de algún punto.

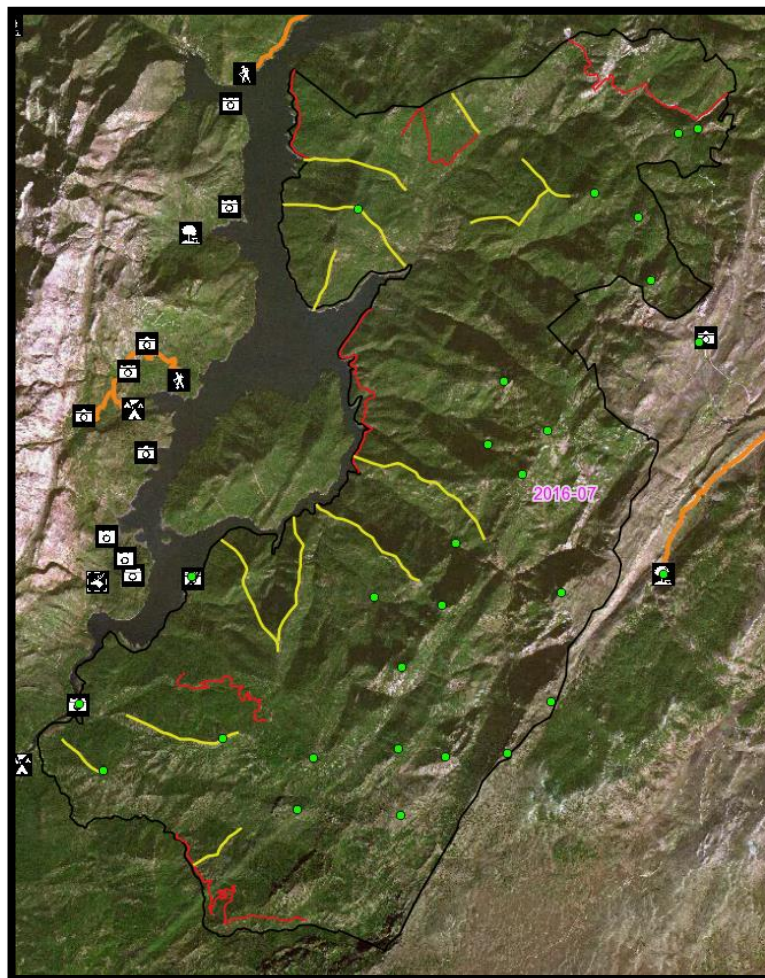


Figura 16: Puntos de ignición (verde) sobre equipamientos de la Junta de Andalucía, áreas cortafuegos (amarillo) y fajas auxiliares (rojo) y ortofotos P.N.O.A.

Se puede observar en la figura anterior, que existen dos puntos fuera de la zona de estudio, ello se debe a que son puntos muy cercanos a poblaciones, siendo uno de ellos el nacimiento del Río Segura.

Para la realización de las simulaciones se utilizó el programa FlamMap 5 (USDA Forest Service, 2020), con distintos escenarios meteorológicos, una de ellas con viento, temperatura y humedad medias y otra con los mismos parámetros, pero siendo los mismos los más desfavorables ocurridos en el verano de 2017.

3.3. Actualización de la cartografía de modelos de combustible:

Para alcanzar este objetivo se ha elaborado una metodología que con datos LiDAR permita obtener los modelos de combustible UCO40 para la zona de estudio. Para ello se asociaron características estructurales de las masas a cada uno de los modelos, lo cual ya tuvo su complicación puesto que, al ser cuarenta modelos, las diferencias son sutiles pero el “Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos” (Rodríguez y Molina (2010)) ayuda a conocer características y cuál es la metodología que hasta este momento ha sido utilizada para su definición por lo que se parte de una buena base.

Los principales grupos en los que se dividen los modelos de combustible son: Pastos (P), Pastos-Matorral (PM), Matorral (M), Hojarasca-Matorral-Pasto (HPM), Hojarasca-Restos (HR) y Restos (R). La tecnología LiDAR proporciona información sobre la estructura tridimensional de los bosques lo que la convierte en una herramienta muy útil (Lim et al., 2003; Zimble et al., 2003).

Se han fijado unas características generales para cada grupo de modelos de características estructurales con LiDAR pero también ha sido necesario utilizar capas de apoyo para conocer las especies que existen en el territorio como son las de vegetación del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE).

Los datos LiDAR de la zona fueron adquiridos en el año 2017 en el Centro de Descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana dentro del programa PNOA. Estos datos fueron

capturados en el año 2014 con un LEICA ALS60 (Airbone Laser Scanner), los puntos presentan una densidad promedio de 0,5 puntos/m² en una extensión de 2x2 kilómetros.

Esta información se encontraba en formato LAZ que es el formato de compresión de los ficheros LAS por lo que fue necesario utilizar el programa LASTools, más concretamente el programa LASZip para realizar la descompresión.

Algunas zonas no se encontraban bien representadas en los datos descargados del CNIG, por lo que ha sido necesario recurrir al centro de descargas de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del territorio de la Junta de Andalucía, donde los archivos ya se encontraban en formato LAS, no siendo necesario una descompresión previa como ocurre con los datos del CNIG.

Una vez obtenidos los archivos se procedió a obtener el MDT y MDS a través del programa FUSION y LDV desarrollado por Robert J. McGaughey (2008) en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. El programa ayuda a explorar, analizar y procesar los datos LiDAR, en este caso no se utilizó la capacidad de representar los datos visualmente del programa, sino que se realizaron varias líneas de comandos en Microsoft Disk Operating System (MS-DOS) para el procesamiento.

En primer lugar, se utilizó el comando “GroundFilter” que está diseñado para filtrar la nube de puntos para eliminar aquellos retornos que no representan la realidad y por tanto devuelve una nube de puntos que sí sería aceptable para poder calcular distintas variables de la vegetación, dicho comando utiliza el algoritmo adaptado al caso de Kraus y Pfeifer (1998) que se basa a su vez en la predicción (Kraus y Mikhail, 1972). Este comando está especialmente probado en vuelos con una densidad alta (4 puntos/m²) pero el propio autor indica que, en el caso de tener vuelos con una densidad baja, como es nuestro caso, será necesario probar distintos coeficientes que se aplican en el comando. Se probaron distintos coeficientes siendo los predeterminados los que mejor se adaptaban a la realidad ya que el resto producían una mayor cantidad de puntos fuera de la media. Al ejecutarse el comando se obtiene 4 archivos LAS: uno representa el terreno, la superficie por encima del mismo, por debajo de este y los huecos.

A continuación, se generó el modelo digital del terreno con el comando “GridSurfaceCreate” que produce un archivo .dtm, este se puede visualizar con la aplicación FUSION. El programa requiere una imagen de la zona, como no fue posible encontrar una ortofoto de la zona en los formatos que requiere el programa, se creó con el mismo una imagen de intensidad a partir de capas LiDAR. Para ello fue necesario en la interfaz del programa clicar en Tools /MiscellaneousUtilities /Createan imagen using LIDAR point data.

Esta imagen sirvió para visualizar el modelo digital del terreno, así como la próxima capa que se comenta a continuación.

En FUSION, con el comando “CanopyModel” utilizando la opción /ground:archivoterreno.dtm, se generó el modelo digital de vegetación, sin utilizar la opción anterior se obtendría un modelo digital de superficies. Es importante hacer un modelo digital del terreno ya que es imprescindible para la creación del modelo digital de vegetación, como se puede deducir de la opción descrita anteriormente, que ejecuta una división entre el suelo y el resto de las superficies, con lo que se normaliza la capa de vegetación.

Este comando produce un archivo .dtm que se puede visualizar en la aplicación FUSION y se puede transformar desde el mismo en un archivo ASCII, el cual se puede manejar en cualquier sistema de información geográfico (SIG).

Finalmente, para obtener los valores del factor de cabida cubierta se usó el comando “GridMetrics”, este comando viene predeterminado para usar los datos de elevación, pero para la estimación del FCC es necesario cambiar a intensidad, además de solicitar el raster correspondiente a la cobertura. Se utilizó la altura de 2,5 metros para diferenciar el matorral del arbolado obteniendo una capa de la cobertura para cada estrato.

El primer grupo que conforma los modelos de combustibles son el grupo de los pastos, que se divide a su vez en nueve categorías. En este trabajo de modelización mediante LiDAR ha sido dividido los grupos de pastos según su talla y disposición, siendo las características principales las que se indican a continuación (Figura 17):

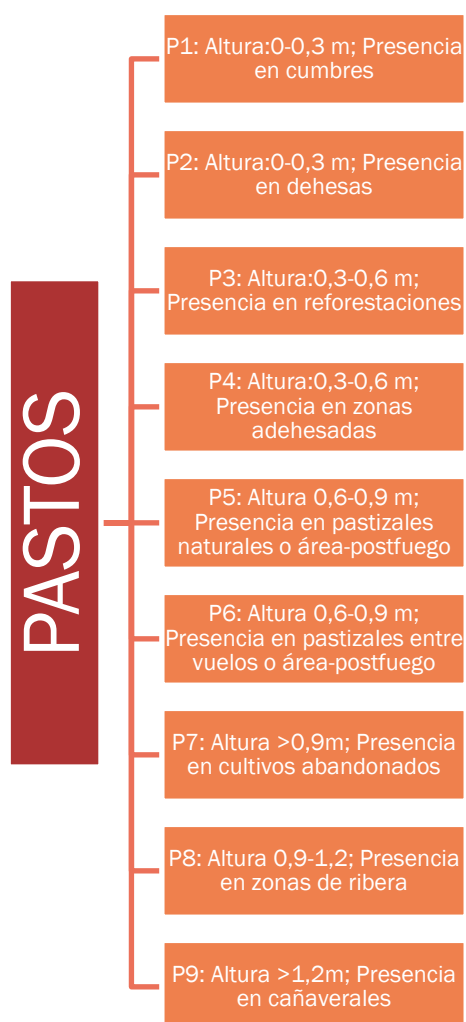


Figura 17: Croquis de modelos de combustibles de pastos.

Hay que tener en cuenta que existen varios modelos que podrían tener conflicto, como pueden ser el P1 y P2 por tener características estructurales iguales, diferenciándose por el sistema en el que se encuentran por lo que es necesario acompañar la información obtenida por LiDAR con información que indique especies o sistemas que se encuentran en la superficie. En este caso se utilizó la capa del SIOSE, de la cual se puede obtener especies que junto a la información estructural que proporciona LiDAR, permite saber si una masa de encinas es un encinar o una dehesa.

La información de la altura es obtenible a partir de los datos LiDAR, acompañándola para definir este grupo se han seleccionado unos rangos de fracciones de cabida cubierta para el matorral (FCCM) como para el arbolado (FCCA), en este caso se eligieron unos rangos

menores al 10% para cada uno. El siguiente grupo compuesto por pasto y matorral se define por las siguientes características (Figura 18):

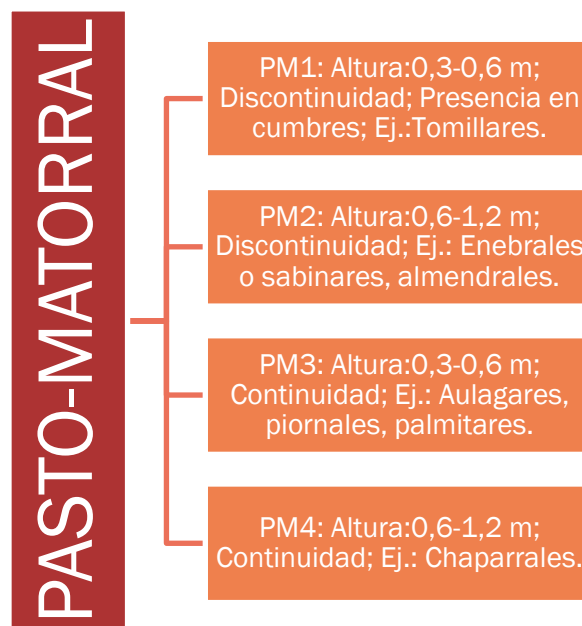


Figura 18: Croquis de modelos de combustibles de pasto-matorral.

Como se puede observar cobra más importancia el porte, la continuidad y las especies que las conforman. Acompañando a estos datos se ha elegido una fracción de cabida cubierta menor al 25% tanto para el matorral como para el arbolado, esto permite diferenciarlo bien entre la categoría anterior y las siguientes (Figura 19).



Figura 19: Croquis de modelos de combustibles de matorral.

Para aquellos grupos en los que se especifica que no tienen presencia de arbolado se ha fijado un FCC menor al 10% que representaría la baja participación en la superficie del estrato arbóreo. Para aquellos grupos en los que, si hay presencia de arbolado, se ha fijado un FCCA por debajo de 50%. Para la categoría M5 que suele darse en latizales y para la M7 que está asociado a matorrales altos que pueden alcanzar alturas por encima de los 2,5 metros, que es el límite que se marcó para tenerlo en cuenta como matorral, se ha fijado una altura del arbolado por debajo de 7 metros. El FCC del matorral para todos tiene que estar por encima del 25%.

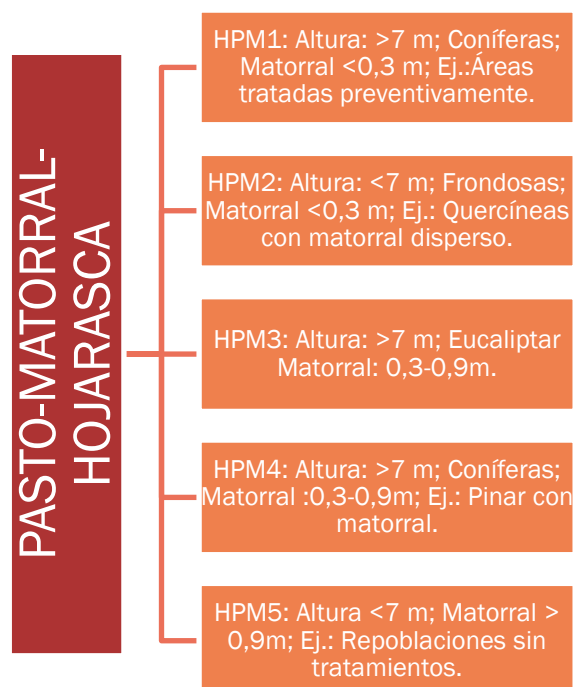


Figura 20: Croquis de modelos de combustibles de pasto-matorral-hojarasca.

En este grupo de modelos (Figura 20) se ha establecido una altura por encima de 7 metros ya que es cuando se ha considerado que la masa pasa de latizal a fustal. Por lo general la clase natural de edad latizal pasaría a la siguiente, fustal, cuando el diámetro normal (DN) sobre pase cierto nivel. Con vuelos LiDAR de mayor densidad de puntos es posible que se pudiera hacer una estimación más acertada de este parámetro ya que con los vuelos del PNOA, donde la densidad es baja, los puntos no atraviesan el dosel por lo que la obtención de un diámetro es muy inexacta, es por lo que se ha establecido un rango base en la altura en el que los datos LiDAR que se han utilizado presentan mayor precisión. Para los matorrales se han establecido unos rangos desde el suelo a 0,3 m para matorrales de porte bajo y de 0,3 a 0,9 metros para matorrales más desarrollados. Otra característica que permite reducir las opciones entre las distintas categorías son las especies.

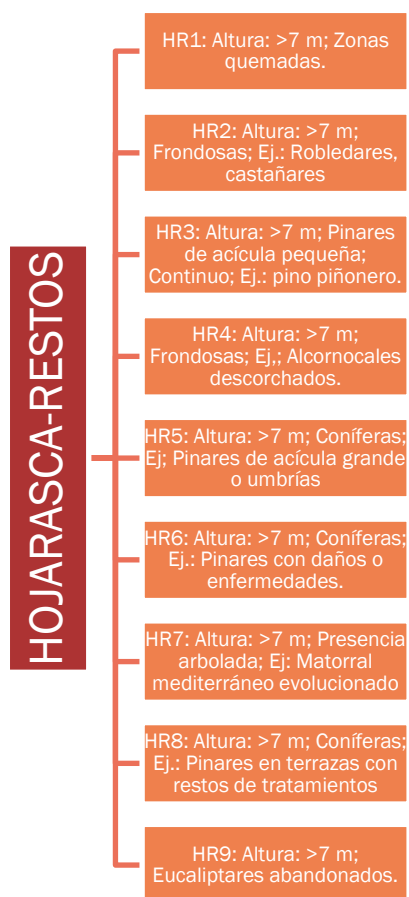


Figura 21: Croquis de modelos de combustibles de hojarasca-restos.

Este grupo (Figura 21) es quizás el más ambiguo de todos ya que depende mucho de la especie que se encuentre presente. En el libro se establecen unos rangos orientativos de la profundidad de la hojarasca, pero ocurre lo mismo que ya se ha comentado con el diámetro, que el número de pulsos no es lo suficientemente denso como para poder permitir una estimación exacta de esta característica al igual que es posible que en zonas donde la hojarasca esté muy compactada no permita a los pulsos traspasarlos hasta llegar al suelo por lo que es posible que en algunas zonas se haya tomado la hojarasca como terreno. Es por ello por lo que hay que recurrir a otras variables, como es la escasa o nula presencia de matorral al igual que la densidad aparente de copas.

Además de estos grupos existe otro que aglomera los modelos identificados con restos del dosel. Este grupo no abarca superficies extensas ya que, con la normativa actual vigente, que exige la retirada de los restos de tratamiento de residuos forestales que

incrementan el riesgo de incendios (art. 21, Decreto 247/2.001), la presencia de estos es escasa además de inimaginable en superficies extensas homogéneas que permitan considerar un modelo de combustible.

Las características LiDAR empleadas para la clasificación de los modelos de combustible, junto a información obtenida de la capa de vegetación del SIOSE son las indicadas a continuación (Tabla 7):

Tabla 7: Características estructurales para la modelización de los modelos de combustible.

Modelos	FCCA (%)	FCCM (%)	Altura arbolado (m)	Altura matorral (m)	Altura pastizal (m)	Peso de las copas(Kg)	Observaciones
P1	<10	<10	-	-	0-0,3	-	Cumbres
P2	<10	<10	-	-	0-0,3	-	Dehesas
P3	<10	<10	-	-	0,3-0,6	-	Reforestaciones
P4	<10	<10	-	-	0,3-0,6	-	Dehesas
P5	<10	<10	-	-	0,6-0,9	-	Praderas naturales o zonas post-fuego
P6	<10	<10	-	-	0,6-0,9	-	Zonas entre vuelos o zonas post-fuego
P7	<10	<10	-	-	0,9-1,2	-	Cultivos abandonados
P8	<10	<10	-	-	0,9-1,2	-	Riberas
P9	<10	<10	-	-	1,2-2,5	-	Cañaverales
PM1	<25	<25	-	0,3-0,6		-	Discontinuidad
PM2	<25	<25	-	0,6-1,2		-	Discontinuidad
PM3	<25	>25	-	0,3-0,6		-	Continuidad
PM4	<25	>25	-	0,6-1,2		-	Continuidad

Modelos	FCCA (%)	FCCM (%)	Altura arbolado (m)	Altura matorral (m)	Altura pastizal (m)	Peso de las copas(Kg)	Observaciones
M1	<10	>50	-	0-0,6	-	-	Discontinuo
M2	<10	>50	-	0-0,6	-	-	Continuo
M3	<10	>50	-	0,6-1,5	-	-	Continuo
M4	<50	>50	-	0,6-1,5	-	-	Continuo
M5	<50	>50	<7		-	-	Latizal
M6	<10	>50	-	0,6-1,5	-	-	Discontinuidad
M7	<50	>50	<7		-	-	Matorral alto
M8	<50	>50		0,6-1,5	-	-	Continuidad
M9	<10	>50	-	1,5-2,5	-	-	Dos estratos
HPM1	>50	>25	>7	<0,3	-	-	Coníferas
HPM2	>50	>25	<7	<0,3	-	-	Fronosas
HPM3	>50	>25	>7	0,3-0,9	-	-	Eucaliptales
HPM4	>50	>25	>7	0,3-0,9	-	-	Coníferas
HPM5	>50	>25	<7	>0,9	-	-	Repoblaciones sin tratamientos
HR1	>75	<10	>7	-	-	>12,78	Zonas quemadas
HR2	>75	<10	>7	-	-	>25,56	Fronosas
HR3	>75	<10	>7	-	-	>38,34	Coníferas
HR4	>75	<10	>7	-	-	>51,12	Fronosas
HR5	>75	<10	>7	-	-	>63,9	Coníferas
HR6	>75	<10	>7	-	-	>76,68	Coníferas
HR7	>75	<10	>7	-	-	>89,46	Mixtos
HR8	>75	<10	>7	-	-	>102,24	Coníferas
HR9	>75	<10	>7	-	-	>115,02	Eucaliptales

3.3.1. Densidad aparente de copas *Pinus pinaster*.

Como se ha comentado para el grupo de modelos de combustible de hojarasca ha sido necesario tener en cuenta la densidad aparente de copas (Canopy Bulk Density, CBD). Para obtener este parámetro ha sido necesario realizar una revisión bibliográfica además de visitas de campo.

En primer lugar, existe varia documentación que proporciona información del CBD tanto a nivel local de la Sierra de Cazorla, Segura y las Villas, como a nivel autonómico. La información local únicamente está para el *Pinus pinaster* Ait. extraída del artículo de Molina et al. (2014), en ese texto se muestrearon un total de 22 pies de esta especie.

Estos pies fueron cortados y cada una de sus copas fue dividida a mano entre acículas, ramillas de una hora y de diez horas, por lo que se obtenía el peso total de la copa, además con la recogida de datos de como afectó el fuego de copas tanto activo como pasivo se sabe cuál es la cantidad de copa que está disponible para su consumo en caso de que se produzca un incendio forestal.

Con esta información elaboraron distintas fórmulas para obtener los kilogramos por árbol en masas generales (combinando características artificiales y naturales), otro para masas artificiales y otro para masas naturales, pudiendo obtener para cada una de ellas el peso por árbol de las acículas, el combustible de la copa y el combustible de la copa disponible. También generaron una fórmula para el general de la masa que es la que nosotros vamos a aplicar. Esta información estaba disponible para la especie y además en las proximidades de la zona de estudio. Se decidió realizar un inventario que permitiera conocer el CBD de distintos árboles de esta especie, y con la extracción de información LiDAR poder generar un modelo que permitiera su aplicación.

Se muestrearon un total de 12 parcelas de 20 metros de radio con las siguientes características dasocráticas que permiten el cálculo del CBD, siendo estas las que a continuación se exponen (Tabla 8):

Tabla 8: Características dasocráticas obtenidas en las 12 parcelas de 20 metros de radio.

Variable	Máximo	Mínimo	Media	Desviación estándar
Diámetro normal (m)	56,8	19,50	37,01	10,39
Altura (m)	27,6	8,90	123,50	4,7
Longitud de copa(m)	12,10	3,5	7,32	2,34
Diámetro de copa (m)	10,5	3,31	6,39	2,05
Edad	100	30	65,7	25,06
Número de pies	30	10	18,42	5,77

La principal masa de pino pinaster es natural y predomina sobre todo en el norte de la zona de estudio, la red viaria es escasa, pero existe una carretera que transcurre por la zona, por lo que la localización de las parcelas es la que se muestra en la figura 22, el centro de las parcelas fue tomado con GPS.

Figura 22: Localización de las parcelas muestreadas de *Pinus pinaster*.

Las coordenadas de las parcelas en el Sistema de Referencia de Coordenadas ETRS89 UTM zone 30N, son las siguientes (Tabla 9):

Tabla 9: Ubicación por coordenadas de las parcelas muestreadas de *Pinus pinaster*.

Punto	X	Y
1	524845,30	4225474,90
2	524622,70	4225423,85
3	524600,24	4225366,67
4	524557,35	4225354,41
5	524485,88	4225307,44
6	524585,94	4225280,89
7	524992,34	4224647,81
8	525635,64	4224515,07
9	525594,79	4224472,18
10	525982,81	4224762,17
11	526023,65	4224784,64
12	526072,67	4224854,07

Como ya se ha comentado se ha utilizado la fórmula general que es la siguiente (Eqn 24):

$$CBD = a + bCR + cCD + dCC \quad (24)$$

Siendo:

- CBD: la densidad aparente de copas (Kg/m³).
- CR: La media del ratio de copa (adimensional).
- CD: La media del diámetro medio de copa (m).
- CC: El factor de cabida cubierta de la copa (%).
- a: 0,73
- b: -0,926
- c: -0,028

- d: 0,002

Aplicándola a la información recogida de las parcelas de muestreo se obtuvieron los siguientes valores para el CBD (Tabla 10):

Tabla 10: Valores obtenidos para CBD.

Variable	Máximo	Mínimo	Media	Desviación estándar
CBD (Kg/m ³)	0,35	0,01	0,144	0,09

El siguiente paso fue extraer la información LiDAR de los mismos puntos para lo que fue necesario realizar un buffer de 20 m de radio a los puntos tomados en campo, a continuación, en ArcGIS se utilizó la herramienta “Geometría Mínima de Delimitación”, el apartado Contorno lo cual genera un cuadrado que abarca toda la superficie de la parcela. Lo siguiente fue utilizar la herramienta “De Vértices de Entidad a Puntos” que nos proporciona los vértices de dicho cuadrado y por último obtener las coordenadas de estos, ya que el comando “ClipData” del programa FUSION requiere las coordenadas de los puntos inferior izquierdo y superior derecho de la zona a extraer, existiendo un comando que permite generar parcelas circulares y normalizando las parcelas eliminando la cobertura referente al suelo. Por último, fue necesario extraer la información de las parcelas cortadas de LiDAR con el comando “CloudMetrics” que genera un archivo .csv con las variables LiDAR para cada parcela. Las variables obtenidas tanto para la elevación como para la intensidad son las siguientes:

- Número total de retornos.
- Recuento de retornos por número de retorno (admite hasta 9 retornos discretos).
- Mínimo.
- Máximo.
- Media.
- Mediana.
- Moda.

- Desviación estándar.
- Varianza.
- Coeficiente de variación.
- Rangos intercuartiles.
- Skewness.
- Kurtosis.
- AAD (Desviación media absoluta).
- MADMediana (Mediana de las desviaciones absolutas de la mediana general).
- MADModa (Mediana de las desviaciones absolutas de la moda general).
- Momentos L (L1, L2, L3, L4).
- Momentos L skewness.
- Momentos L kurtosis.
- Valores de percentiles (5°, 10°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, 90°, 95°, 99°).
- Relación del relieve de la copa.
- Porcentaje de primeros retornos por encima de una altura especificada (en nuestro caso 2,5 m).

En total se obtiene setenta y ocho variables para cada parcela, esta información unida a los resultados obtenidos en cada parcela sobre la densidad aparente de copa, que se trataría de la variable explicada, se introdujo en el programa R en el que se realizó un primer filtro o análisis de carácter exploratorio de la calidad de estas.

3.3.2. Otras variables dasocráticas.

Como se ha comentado en el apartado anterior, se realizó el inventario dasocrático de 12 parcelas de 20 metros de radio, de las cuales se obtuvieron distintas variables. En el “Manual de Ordenación de Montes” (Junta de Andalucía, 2004) de la Junta de Andalucía se detalla que el muestreo piloto de un inventario forestal debe de ser 60 parcelas o el 0,4% de la superficie del monte en estudio.

En el caso de la superficie que se está estudiando se realizó un estudio previo que señaló que, de las 9.675,37 hectáreas, una superficie menor al 10% pertenecen a zonas

donde no hay arbolado o este se encuentra muy aclarado, además de tratarse de zonas bastantes dispersas en todo el monte estas suelen corresponder a las cumbres. Es por ello, por lo que generalmente existe arbolado en la superficie además con características homogéneas dentro de la masa. A esto hay que añadirle que la superficie no posee una red viaria extensa y repartida por el monte, esto limita poder muestrear parcelas con un lado de malla amplio.

Por estas razones se decidió realizar el muestreo piloto con la información de las parcelas recogidas para los datos sobre la densidad aparente de copas, ya que se podría comprobar si la masa es realmente homogénea como se ha comentado anteriormente y cuál es el número de parcelas que serían necesario muestrear para una probabilidad fiducial del 90% para la t de Student en un muestreo aleatorio simple. Siendo las características de las parcelas y los cálculos los siguientes (Tabla 11):

Tabla 11: Número de pies y densidades obtenidos por parcela.

Parcela	Número de pies	Densidad (pies/ha)
1	29	230,77
2	18	143,24
3	18	143,24
4	14	111,41
5	17	135,28
6	16	127,32
7	19	151,20
8	14	111,41
9	30	238,73
10	10	79,58
11	17	135,28
12	19	151,20
Coeficiente de variabilidad		31,36 %

Los datos resumidos de las parcelas pueden observarse en el anexo 2.

Para obtener el número de parcelas necesarias, se utilizó la siguiente fórmula (Eqn 25) que es para poblaciones infinitas como más adelante se demostrará que es el caso que aquí tenemos.

$$n = \frac{t^2 * CV^2}{\varepsilon^2} \quad (25)$$

Siendo:

- t: t de Student.
- CV: el coeficiente de variación, en tanto por ciento.
- ε : el error de muestreo admisible, en tanto por ciento.

Al igual que en apartados anteriores se obtuvo una aproximación del número de parcelas utilizando la ecuación 2 con un valor de t igual a 2, en el que se obtuvo 39,34 parcelas, que se redondearon a 39 parcelas. A continuación, se confirmó que se trataba de una población infinita con la siguiente fórmula (Eqn 26):

$$\frac{n}{N} < 0,05 \text{ población infinita} \quad (26)$$

Siendo:

- n: número de parcelas.
- N: superficie del monte, en m², dividido entre la superficie de una parcela, en m².

El resultado fue 0,0005 por lo que se trataba de una población infinita y se podía utilizar la ecuación 2. Para obtener un número de parcelas definitivo se repitió la ecuación 2, ajustando el valor de t, en la cual se obtuvo un resultado de 27,97 parcelas, por lo que se redondeó a 28.

Lo más normal en estos casos hubiese sido incorporar las 12 parcelas al inventario y por lo tanto únicamente muestrear 16 parcelas, pero al encontrarse las parcelas ya realizadas en la zona norte del monte en estudio se decidió realizar 25 parcelas en otras localizaciones del monte y solo incorporar 3 al inventario de características dasocráticas. Esto además confirmaría que el monte es homogéneo y que al realizarse el muestreo piloto en una masa y localización relativamente pequeña la variabilidad se vio reducida, con las consecuencias que esto conllevaría.

Al igual que en el inventario de la masa de pino pinaster se escogieron localizaciones cercanas a caminos o senderos, las parcelas mantuvieron su radio de 20 metros y el centro de la parcela fue tomado con GPS, en el SRC ETRS89 UTM zone 30N y son las siguientes (Tabla 12):

Tabla 12: Localización por coordenadas de las parcelas muestreadas de la masa forestal.

Parcela	X	Y
1	520925,62	4217067,16
2	520671,44	4216485,97
3	520947,46	4217008,8
4	521434,71	4216976,51
5	521667,87	4216811,18
6	521248,88	4217015,71
7	517383,17	4214900,27
8	517427,40	4214744,56
9	517538,74	4214661,63
10	517647,33	4214663,58
11	517939,46	4214640,02
12	518106,39	4214517,47
13	518148,48	4214627,04
14	518042,54	4214795,17
15	517877,35	4214921,78
16	516471,90	4213705,88
17	516411,34	4213809,9
18	516797,27	4213901,79
19	517123,02	4214038,92
20	517426,73	4214174,68
21	517537,71	4214228,71
22	515873,59	4212138,36
23	515330,65	4212833,93
24	515764,51	4213304,37

Parcela	X	Y
25	516197,86	4213595,8
26	525638,7	4224510,33
27	525000,23	4224653,08
28	524854,24	4225488,52

La localización de estas parcelas esta vez fue en la zona sur y central del monte, como se puede ver a continuación (Figura 23):



Figura 23: Localización de las parcelas muestreadas de toda la masa forestal.

En estas localizaciones se realizaron mediciones dasométricas de altura del arbolado, diámetro normal, altura de la primera rama viva, altura del matorral, especies tanto del arbolado como del matorral y factor de cabida cubierta del arbolado y matorral, también se anotó el modelo de combustible UCO40 con el que se correspondía. En todas las parcelas se realizó el mismo procedimiento, se dividió la parcela en cuatro sectores, comenzando siempre por el que estuviera orientado al norte, realizando las mediciones y pasando al siguiente sector en el sentido de las agujas del reloj.

Para cada parcela se realizó una ficha, todas ellas se encuentran recogidas en el anexo 3, para consultar más información ya que aquí nos centraremos en la densidad de pies por hectárea que es el dato relevante para conocer el error en el muestreo y que se muestra a continuación (Tabla 13):

Tabla 13: Densidad (pies/ha) de las parcelas muestreadas de toda la masa forestal.

Parcela	Densidad (pies/ha)
Parcela 1	612,75
Parcela 2	358,10
Parcela 3	795,77
Parcela 4	915,14
Parcela 5	636,62
Parcela 6	198,94
Parcela 7	366,06
Parcela 8	342,18
Parcela 9	374,01
Parcela 10	326,27
Parcela 11	604,79
Parcela 12	445,63
Parcela 13	636,62
Parcela 14	421,76
Parcela 15	198,94
Parcela 16	246,69
Parcela 17	437,68
Parcela 18	755,98
Parcela 19	302,39
Parcela 20	342,18
Parcela 21	183,03
Parcela 22	246,69
Parcela 23	692,32
Parcela 24	222,82

Parcela 25	708,24
Parcela 26	230,77
Parcela 27	151,20
Parcela 28	151,20
CV	0,5158
Des. típica	219,31
Media	425,17

Para calcular el error típico de la estimación se ha utilizado la siguiente fórmula (Eqn 27) que es la empleada para la población infinita:

$$S\bar{x} = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (27)$$

Siendo:

- s: desviación típica
- n: número de muestras

Para determinar el intervalo de confianza para la media, se emplea la t de Student correspondiente al valor de la distribución para una probabilidad del 90% y n-1 grados de libertad se ha utilizado la siguiente fórmula (Eqn 28):

$$\varepsilon = t * S\bar{x} \quad (28)$$

Obteniendo el error relativo con la siguiente expresión, donde \bar{x} corresponde a la media de la muestra (Eqn 29):

$$\varepsilon\% = \frac{\varepsilon}{\bar{x}} \quad (29)$$

En el muestreo se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 14):

Tabla 14: Resultados del muestreo del inventario de la masa forestal.

Variable	Resultado
$S\bar{x}$	7,83
ε	13,35
$\varepsilon\%$	3,14

El error obtenido es bajo por lo que los datos recogidos representan de buena manera las condiciones en las que se encuentra la vegetación arbórea dentro del monte. Una vez comprobado que los datos recopilados son aceptables se repitió el procedimiento realizado con las parcelas de pino pinaster.

Se extrajo la información LiDAR de cada parcela y se les asignó a los datos extraídos del inventario a fin de poder encontrar modelos que permitan la obtención de dichas variables y por tanto una caracterización de las zonas más inaccesibles del monte.

3.3.3. Peso de copas a nivel de monte.

El inventario que se ha comentado en el apartado anterior proporciona información suficiente para poder asignar valores de peso de copas a las distintas especies arbóreas que se encontraron, en las que predominan el *Pinus nigra*, *Pinus pinaster* y *Quercus ilex*.

Para asignarle a cada parcela un peso de copas se utilizó como referencia el documento “1º Inventario de sumideros de CO₂ en Andalucía”, el cual relaciona Clases Diamétricas (CD) con Kilogramos existentes en parte aérea del árbol. En cada parcela se calculó el diámetro normal medio para cada especie arbórea existente en ella y se realizaron interpolaciones para obtener el peso más cercano a dicho diámetro. En las parcelas en las que existían varias especies se realizó la suma de ambos pesos, seguidamente a cada parcela se le asignó un peso de las copas, como variable explicativa, y se le unió la distinta información recopilada por LiDAR.

Esta información no sufrió ningún tipo más de modificación, pero sería sencillo convertirla en densidad de copa. Esto es factible puesto que se posee información del peso y del volumen que ocupan las copas, esta última variable tanto con información de campo como con información LiDAR, por lo que únicamente sería necesario hacer dicha división para obtener valores de kilogramo por metro cúbico.

Para poder obtener una cartografía que representara los pesos de las copas fue necesario utilizar el comando “Gridmetrics” de FUSION para obtener archivos CSV con la información necesaria. Después usar el comando “CSV2Grid” que permite seleccionar la columna que se necesita para que este genere un archivo asci representando sus valores.

Por último, se utilizó la calculadora ráster para realizar las distintas operaciones matemáticas que conforman el modelo para así obtener como resultado un ráster representando esta variable.

3.4. Análisis estadístico.

En primer lugar, se ha procedido a un análisis de correlación de variables, con objeto de no utilizar variables independientes correlacionadas ($r > 0,7$) en los modelos e identificar las variables más correlacionadas con la variable independiente del modelo, esto dependerá de las distintas variables que hemos comentado anteriormente. Posteriormente, las variables sin correlacionar entre ellas se utilizaron para identificar modelos lineales multivariable. Para el análisis se utilizó una regresión lineal múltiple, basada en el coeficiente de Pearson, ya utilizado para el modelo con el que se ha obtenido los valores referidos a la densidad de copa (Ruiz et al., 2014; Fernández et al., 2015). Las variables se ajustaron utilizando el siguiente modelo (Eqn 30):

$$Y_i = \alpha + \alpha_1 * X_1 + \alpha_2 * X_2 + \dots + \epsilon_i \quad (30)$$

Donde “ Y_i ” es la densidad aparente de copas, “ $\alpha_1, \alpha_2, \dots$ ” son los coeficientes estimados a partir del conjunto de datos a través del análisis de regresión; “ X_1, X_2, \dots ” son las variables; y “ ϵ ” es el error en “ Y_i ”.

Se procedió a una transformación logarítmica de las variables debido a la heterocedasticidad presente en los modelos y la violación de los supuestos requeridos del análisis de regresión lineal (Cruz et al., 2003, Jiménez et al., 2013), es por ello por lo que el modelo resultante fue del siguiente tipo (Eqn 31):

$$\ln Y_i = \alpha + \alpha_1 * \ln X_1 + \alpha_2 * \ln X_2 + \dots + \epsilon_i \quad (31)$$

La transformación logarítmica introduce un sesgo en los cálculos, para corregir de alguna forma este sesgo es necesario aplicar un factor de corrección (FC) (Baskerville, 1972; Sprugel, 1983). El sesgo involucrado es fácilmente corregible multiplicando la variable dependiente por el FC. El factor de corrección se calculó a partir del error estándar de estimación (SEE) de la regresión (Eqn 32):

$$FC = \exp\left(\frac{SEE^2}{2}\right) \quad (32)$$

Los modelos estadísticos se ajustaron para determinar el mejor conjunto de variables independientes, atendiendo al nivel de ajuste y a la complejidad del modelo (análisis de componentes principales). Después, se aplicaron factores de corrección (FC) para contrarrestar el sesgo debido a la transformación logarítmica. La selección de los mejores modelos de estimación de las distintas variables se fundamentó en el coeficiente de determinación (definido como la correlación cuadrada entre los valores medidos y estimados), el nivel de significancia de las variables ($p < 0,05$) y el error estándar de la estimación.

Resultados

4. Resultados

4.1. POD.

Siguiendo la metodología de Thompson et al. (2016) se realizó un estudio detallado de las características de la zona:

- Incendios forestales: como se ha comentado anteriormente la zona de estudio no ha sufrido ningún incendio forestal por lo que el análisis de esta característica ha recaído en otras fuentes. Se recopiló información de los grandes incendios (GIF) acaecidos en la zona, Segura de la Sierra (2017) con una extensión de 686 hectáreas fue un incendio provocado, Quesada (2015) con origen en un rayo tuvo una extensión de 9.806 hectáreas y el incendio del Puerto de las Palomas (2005) también tuvo su origen en un rayo con una extensión de 5.116 hectáreas. Existe una alta probabilidad de que el incendio sea causado por un rayo dado los antecedentes y la recurrencia durante el verano de las tormentas. Igual de importante es tener en cuenta la presencia del ser humano que se ve aumentada en verano como ha podido comprobarse en apartados anteriores.
- Combustibles: en la zona predominan los modelos asociados al arbolado, en el caso de los modelos de Rothermel serían del modelo 7 hasta el 10 ya que del 11 al 13 predominan los restos. La vegetación en la zona ha sufrido un aumento sustancial ya que antiguamente la zona tenía actividad rural asociada a su disminución siendo la más famosa la ganadería de cabras autóctonas de la zona. Actualmente esta ganadería se ha visto cada vez más mermada al igual que las actividades asociadas a la disminución de los combustibles. Es por ello que actualmente existe una masa de pinar bastante densa con tangencia de copas donde el sotobosque y especies dominadas forma una barrera vertical que no hace contacto con el estrato principal compuesto por *Pinus* spp. pero si podrían ser capaces de generar la potencialidad necesaria para que se produzca la transición de fuego de superficie al fuego de copas.

- Orografía: Como ya se ha comentado la pendiente en la zona es elevada, esto genera una cantidad elevada de arroyos que vierten sus aguas al embalse. Asociado a esto se encuentran los barrancos que es una conformación orográfica a tener en cuenta ya que en ellos se producen los denominados fuegos eruptivos. Esta tipología de fuego se da en zonas abarrancadas en el que el aumento de la intensidad y la velocidad de propagación se acompaña por rachas de viento muy fuertes, debido a la aspiración que el propio fuego realiza (Viegas, D.X. (2007)). Al igual que esto ocurre en los fondos de valle y zonas abarrancadas se puede dar la circunstancia contraria que serían las divisorias de agua, donde la vegetación suele ser menos densa, donde se suelen localizar los cortafuegos o aumenta la presencia de roquedos, lo que permitiría la actuación segura de los medios de extinción, al haber una disminución del combustible y la potencialidad.
- Vías de comunicación: Se generó la cartografía de las vías de comunicación presentes en la zona como ya se ha comentado. Esta información realzó el hecho de que el monte posee una red con una densidad baja de vías, muy similar al incendio del Puerto de las Palomas. Ese incendio recorrió tantas hectáreas porque no había acceso para el personal a la zona de manera segura, teniendo en cuenta la escasez de zonas seguras o salidas del monte. De hecho, el incendio se pudo contener en un camino perimetral donde fue posible el acceso de manera segura.

Teniendo en mente las características que se acaban de detallar se realizó una división de la superficie en la que se generaron 107 POD, con una superficie media de 90,42 ha, siendo la superficie del menor de ellos de 36,41 ha y del mayor 183,51 ha. Como se puede apreciar existen diferencias más que significativas en cuanto a la superficie media de los POD, pero no existen precedentes que indiquen cual sería aproximadamente la superficie óptima (Figura 24).

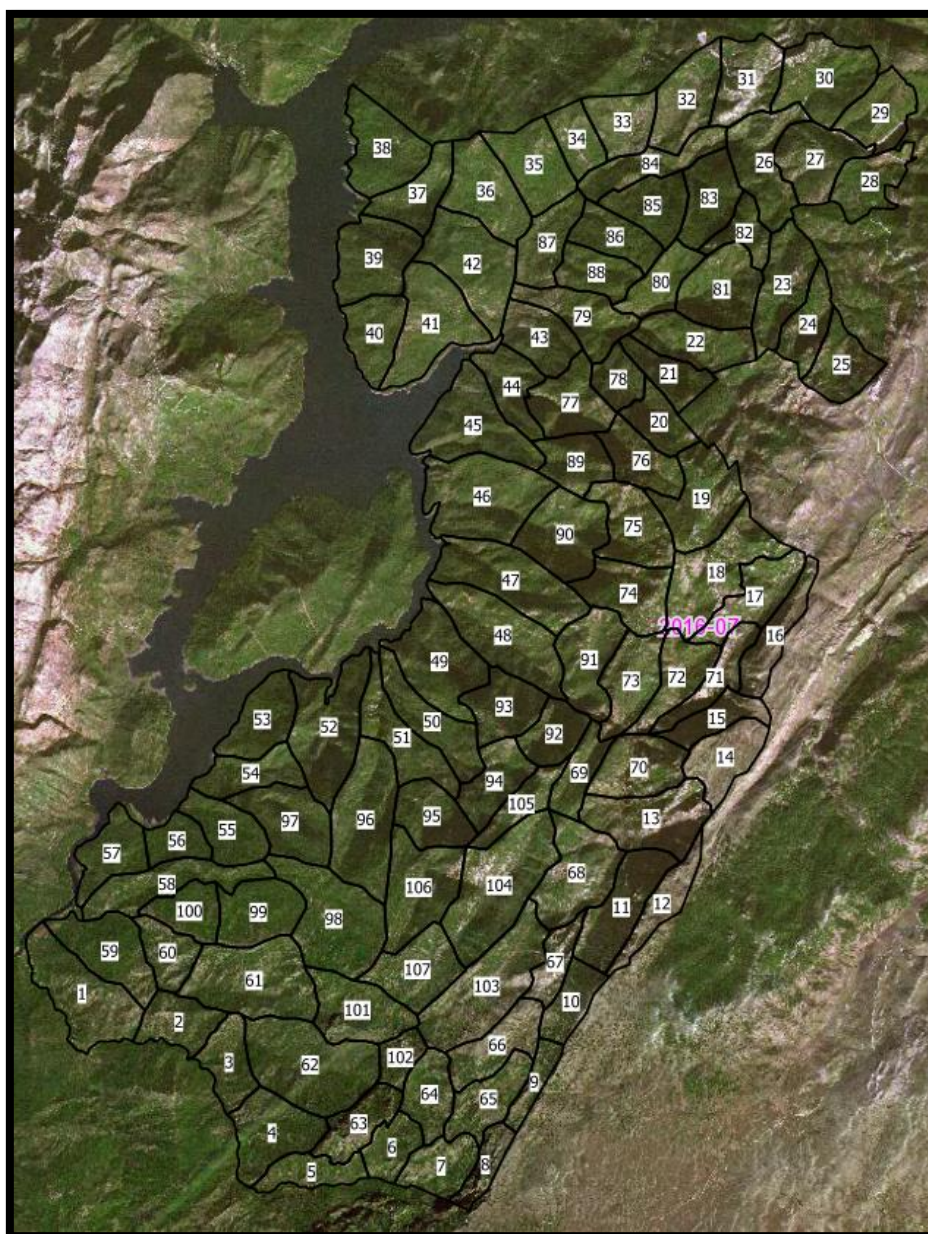


Figura 24: Localización de los POD en la zona de estudio.

Este método de zonificación permite definir unos límites dinámicos con el medio, siendo posible su modificación y adaptación a los cambios, incidencias o diferentes objetivos. Se prevé que las posibles modificaciones de estos límites vengan asociados sobre

todo a las modificaciones del combustible o la creación de nuevas vías de comunicación (personalmente lo veo bastante improbable debido a los niveles de protección de la zona, pero quizás si sería necesario plantearse ya que no es el mismo daño el generado por un incendio forestal que por la creación de un camino, el cual lleva hasta su propio estudio de impacto ambiental).

Es importante tener en cuenta que son límites móviles no solo por las modificaciones del medio que se han comentado, sino también porque la finalidad puede variar por la búsqueda de aplicaciones metodológicas más conservadoras para conseguir un objetivo totalmente distinto al aquí planteado.

Para conocer el número de POD necesarios en la comarca, se distribuyó en la superficie una cuadrícula con 35 cuadrados además de recopilar distintos parámetros para cada uno. Se realizó un minucioso procesamiento analítico de la generación de modelos predictivos considerando como variables independientes las siguientes: viales, líneas de prevención, perímetros de áreas no combustibles, divisorias, fondos de valle, el índice de peligro potencial, el índice de dificultad de extinción, costes de prevención, valorización de los recursos presentes y las pérdidas producidas en el caso de ocurrencia de un incendio forestal. En la tabla 15, se muestran los resultados en dos modelos con diferentes capacidades predictivas. Se eligió el primero puesto que el criterio de Akaike obtenido fue menor esto pone de manifiesto que la estructura y definición del modelo es de mejor calidad, además de proporcionar un coeficiente de determinación R^2 de mayor valor.

Tabla 15: Modelos estimados para la obtención del número de POD.

Modelo	R^2	Akaike	Valor p
N° de POD = 1,4294 + 0,0002 * <i>Viales</i> + (−0,0007) * <i>Cortafuegos</i> + 0,0003 * <i>Fondos</i> + 7,2340 * 10^{−6} * <i>Costes Red</i>	0,9138	129,6241	3,42 * 10 ^{−17}
N° de POD = 1,4403 + 0,0002 * <i>Viales</i> + (−0,0008) * <i>Cortafuegos</i> + (−0,4030) * <i>Idex</i> + 0,0001 * <i>NoCombustible</i> + (−0,0003) * <i>Divisorias</i> + 0,0003 * <i>Fondos</i> + 7,2773 * 10^{−6} * <i>Costes Red</i>	0,9104	133,3194	1,60 * 10 ^{−19}

Siendo:

- Nº de POD: Número de POD por cuadrícula.
- Viales: Metros de caminos, carreteras, autovías en la superficie.
- Cortafuegos: Metros de líneas de prevención en la superficie.
- NoCombustible: Perímetro de las zonas incombustibles en metros.
- Divisorias: Metros de las líneas divisorias de aguas.
- Fondos: Metros de fondos de valle en la superficie.
- Costes Red: Costes de extinción calculados a partir del modelo desarrollado con redes neuronales.

Además, también se calculó el tamaño mínimo que un POD debe de tener en una cuadrícula, no siendo necesario calcular el máximo ya que este correspondería a la superficie total de una cuadrícula, obteniendo (Tabla 16):

Tabla 16: Modelos estimados para la obtención de la superficie mínima de los POD.

Modelo	R ²	Akaike	Valor p
<i>Sup. min. POD = 6,1651 + (-0,4330) * Nº de POD + 0,0026 * Ipp</i>	0,5784	194,8723	1,46 * 10 ⁻³¹
<i>Sup. min. POD = 6,30538 + 0,0025 * Ipp + (-0,5099)NºPOD + (0,0002) * Viales + (7,6153 * 10⁻⁵) * Fondos + 0,0002 * Cortafuegos</i>	0,5464	199,98	0,00025

Siendo:

- Sup.min.POD: Superficie mínima de los POD en la comarca.
- Nº de POD: Número de POD por cuadrícula.
- Ipp: Índice de peligro potencial.
- Viales: Metros de caminos, carreteras, autovías en la superficie.
- Fondos: Metros de fondos de valle en la superficie.
- Cortafuegos: Metros de líneas de prevención en la superficie.

Al igual que en la obtención del modelo referente al número de POD se realizó un minucioso procesamiento de modelos mostrándose aquí el mejor y el peor obtenido. Se eligió el primero puesto que el criterio de Akaike obtenido fue menor esto pone de manifiesto que la estructura y definición del modelo es de mejor calidad, además de una mayor R^2 y un valor de nivel de significancia menor.

4.2. Análisis del comportamiento del fuego:

4.2.1. Índice de peligro potencial:

Subíndice de ignición:

Una vez consultada toda la información, se asignan pesos a cada una de las variables, mencionadas anteriormente, y se realiza el cálculo del subíndice de ignición teniendo como resultado la cartografía representada en la figura 25.

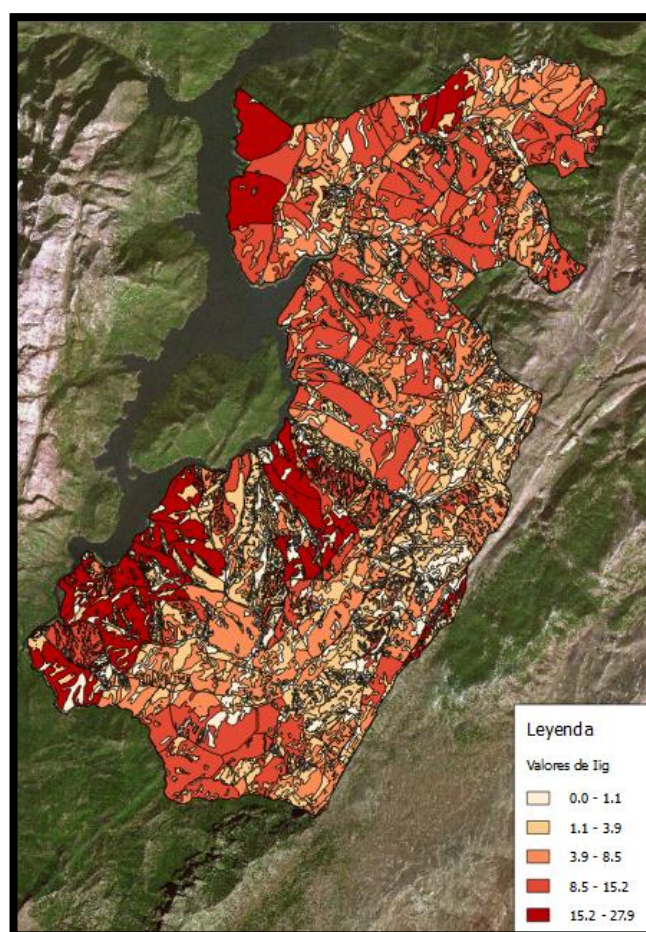


Figura 25: Valores de lig en “Desde Aguamulas a Montero”.

Subíndice de comportamiento dinámico:

Obtenidos todos los datos sobre la velocidad de propagación, se asignaron pesos y realizaron las operaciones oportunas para obtener los valores del índice de comportamiento dinámico en la zona de estudio (Figura 26).

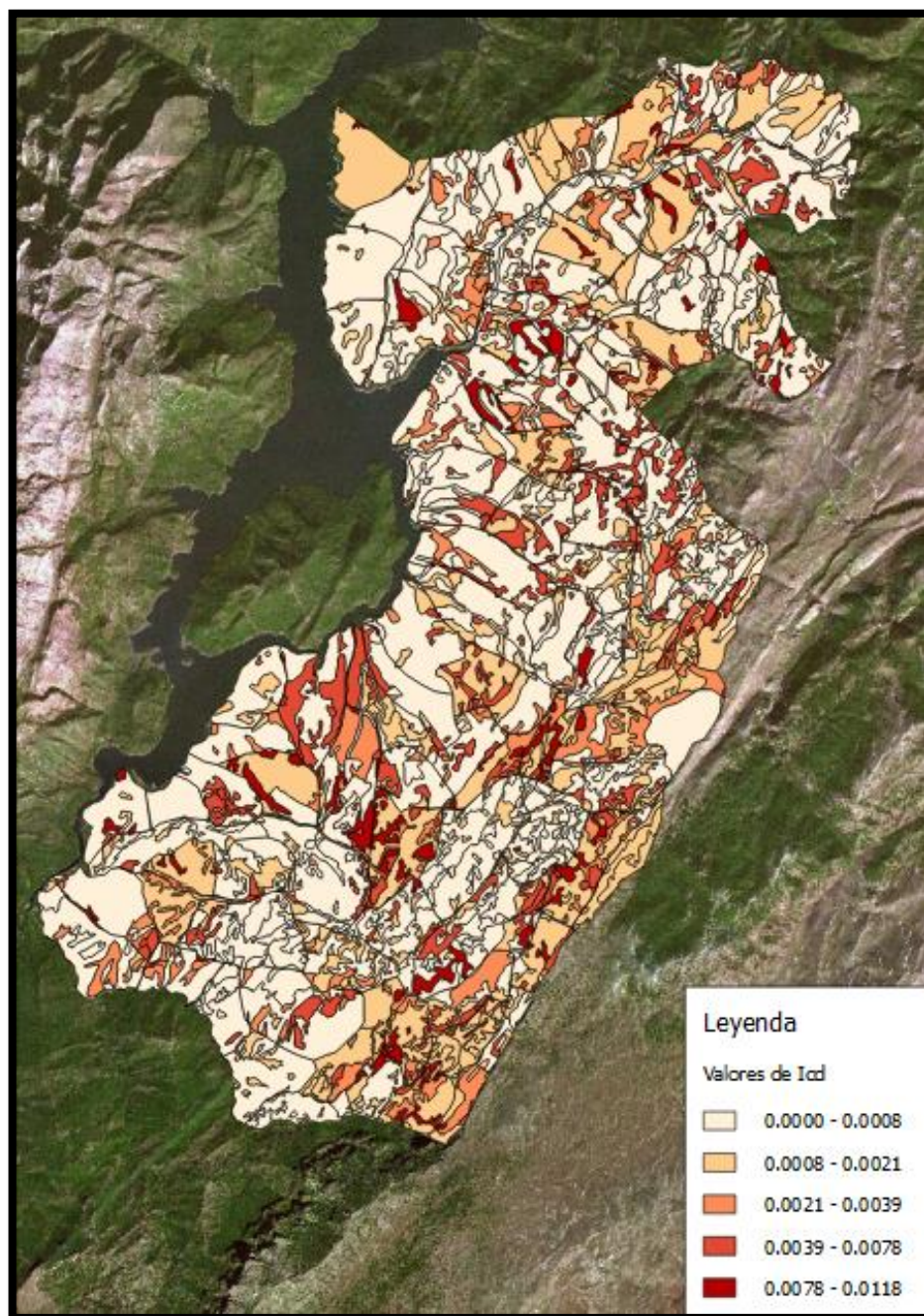


Figura 26: Valores de Icd en “Desde Aguamulas a Montero”.

Subíndice de comportamiento energético:

En la siguiente figura se encuentra representado el valor de I_{ce} para fuegos de superficie (Figura 27), que sería el I_{ce} utilizado, tanto para el cálculo del índice de peligro potencial (I_{pp}) como para el índice de la dificultad de extinción (SDI). Como este subíndice ha sido modificado por el cálculo añadido de los subíndices de comportamiento energético en copas y barrancos, más adelante existirán dos representaciones gráficas para el I_{pp} y SDI.

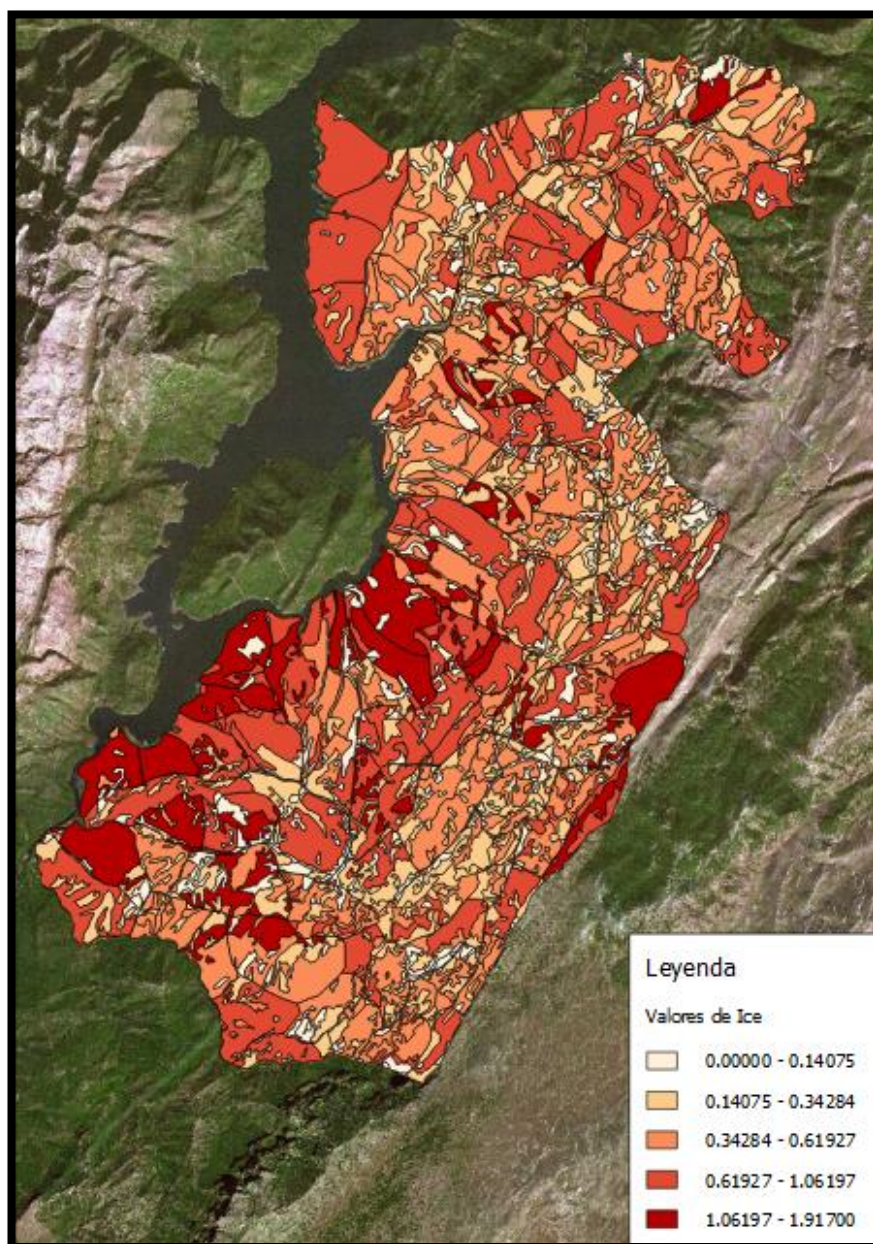


Figura 27: Valores de I_{ce} en “Desde Aguamulas a Montero”.

Comportamiento energético del fuego de copas.

Existe reducida superficie con una valoración de este subíndice, ya que hace falta la existencia de arbolado para su obtención, característica que no se cumple en gran parte de la zona (Figura 28).

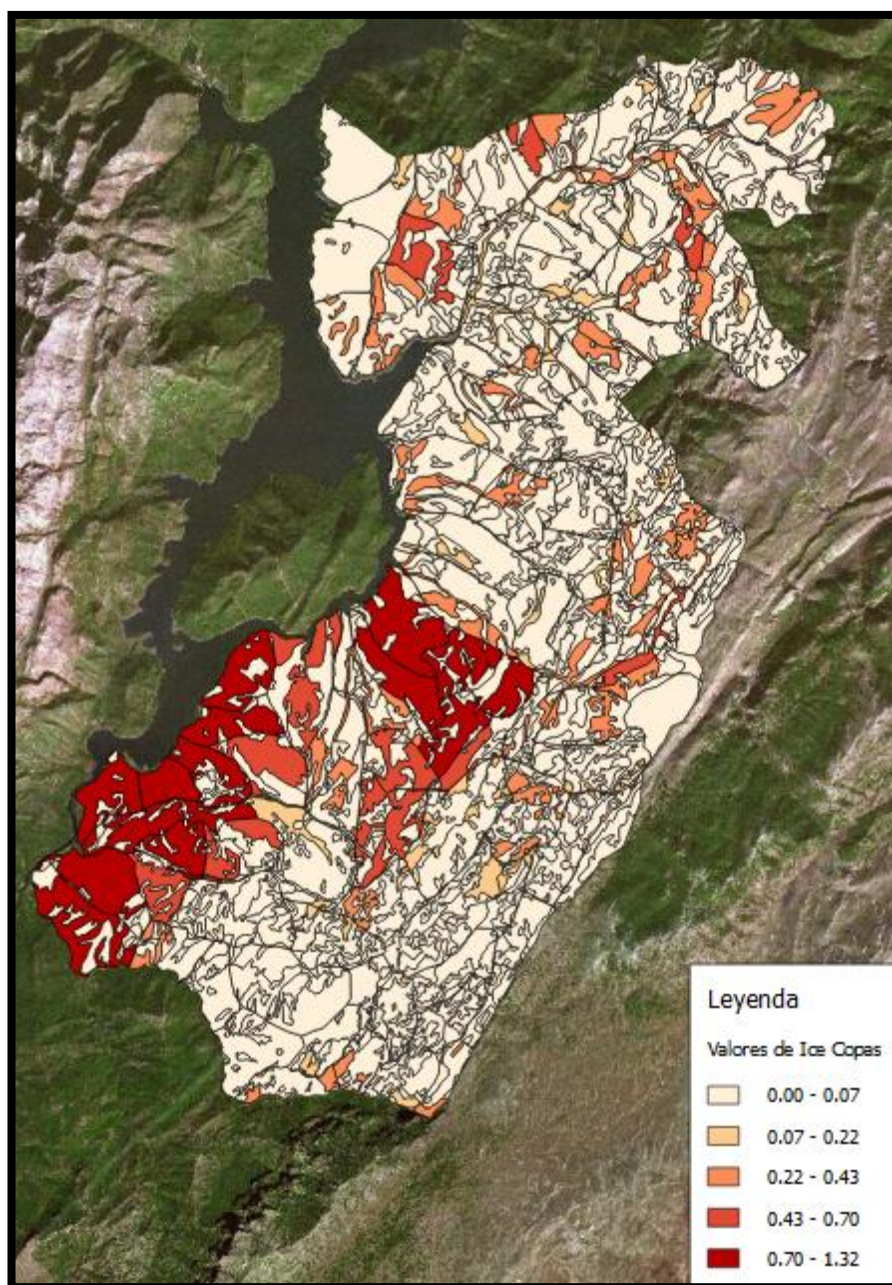


Figura 28: Valores de Ice copas en “Desde Aguamulas a Montero”.

Comportamiento energético fuego eruptivo.

Ocurre algo parecido a lo ocurrido en el subíndice anterior, hace falta la existencia de barrancos para la ocurrencia de un fuego eruptivo, ya que los mismos influyen en el comportamiento del fuego y condicionan el flujo de fluidos, es decir, condiciona el paso de gases calientes a la parte alta además de que al disminuir la sección por la que el flujo circula se ve incrementada la velocidad de propagación del fuego (Figura 29).

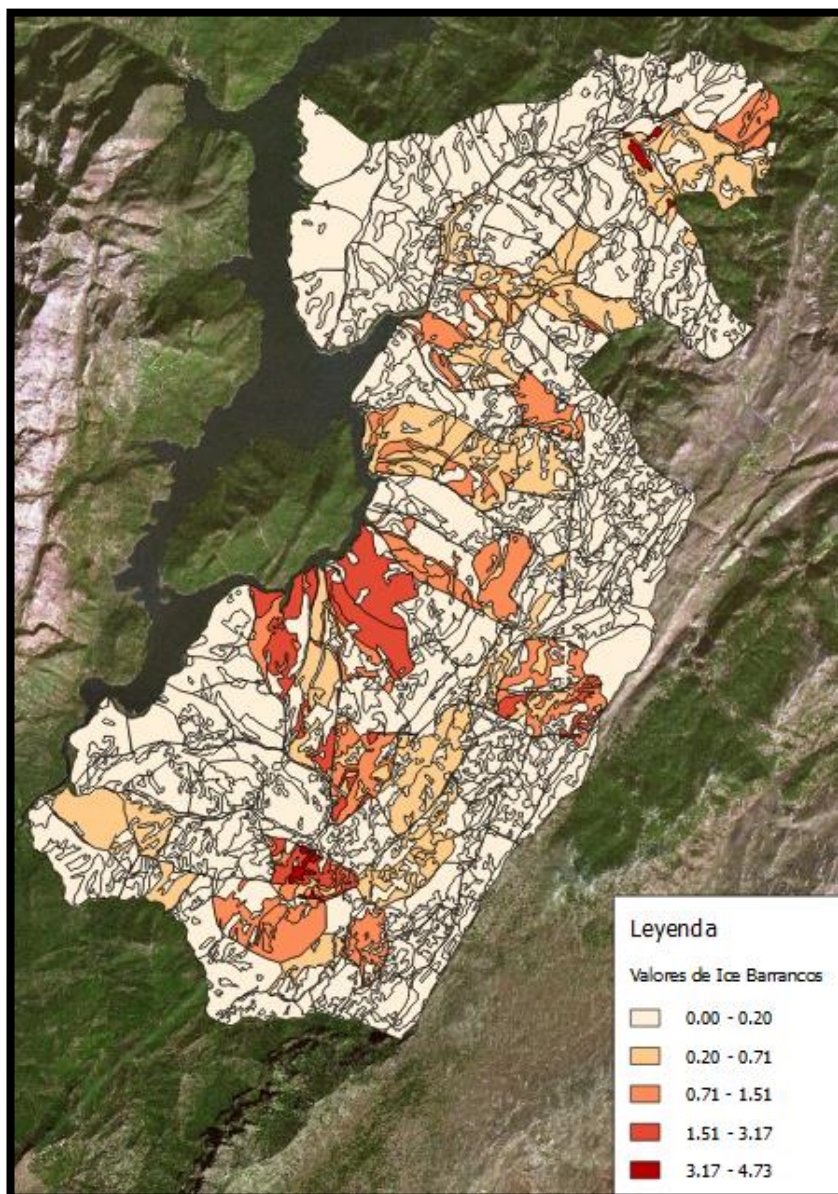


Figura 29: Valores de Ice barrancos en “Desde Aguamulas a Montero”.

En la figura 30, se encuentra representado el I_{ce} compuesto (Eqn 33) de:

$$I_{ce} = I_{ce\text{superficie}} + I_{ce\text{copas}} + I_{ce\text{eruptivo}} \quad (33)$$

Se puede comprobar que el factor que más ha modificado este subíndice, ha sido el obtenido para fuegos eruptivos, debido a que parte de la superficie ha obtenido valores mucho mayores que el I_{ce} de superficie.

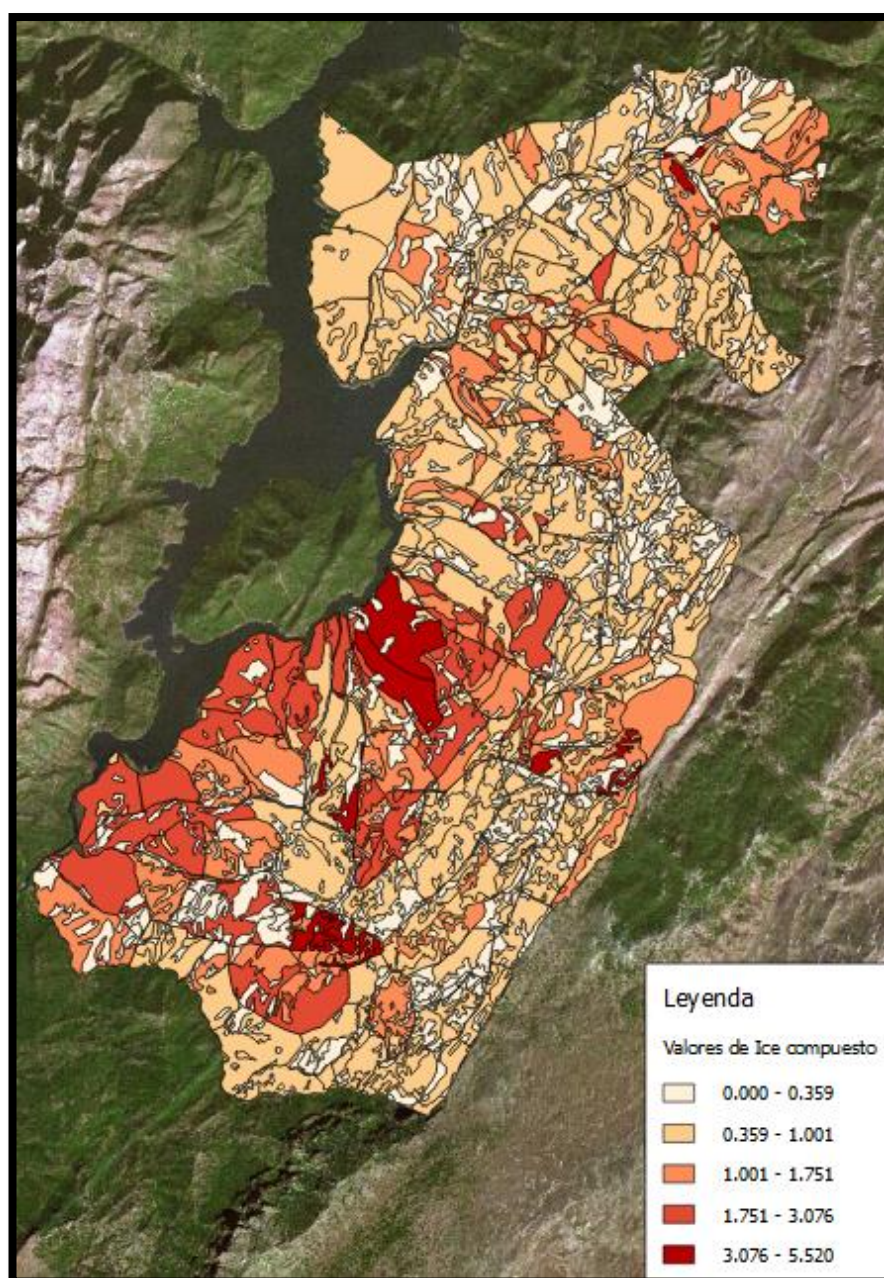


Figura 30: Valores de Ice compuesto en “Desde Aguamulas a Montero”.

En la figura 31 se representa el valor del índice de peligro potencial (I_{pp}) obtenido por la suma del subíndice de ignición, comportamiento dinámico y comportamiento energético de superficie y en la figura 32 el mismo índice, pero obtenido con el subíndice de comportamiento energético compuesto por fuego de superficie, de copas y eruptivos.

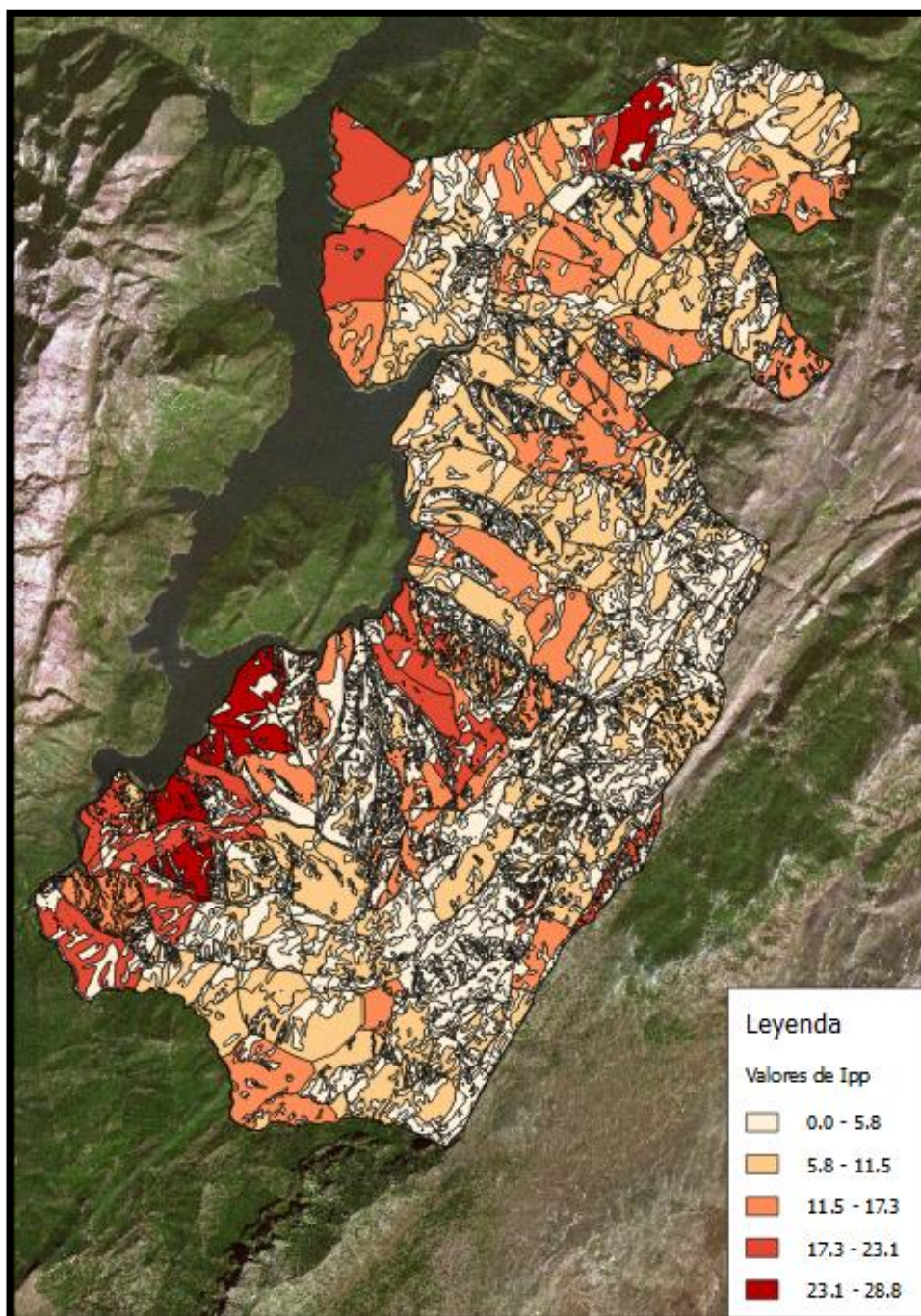


Figura 31: Valores de I_{pp} en “Desde Aguamulas a Montero”.

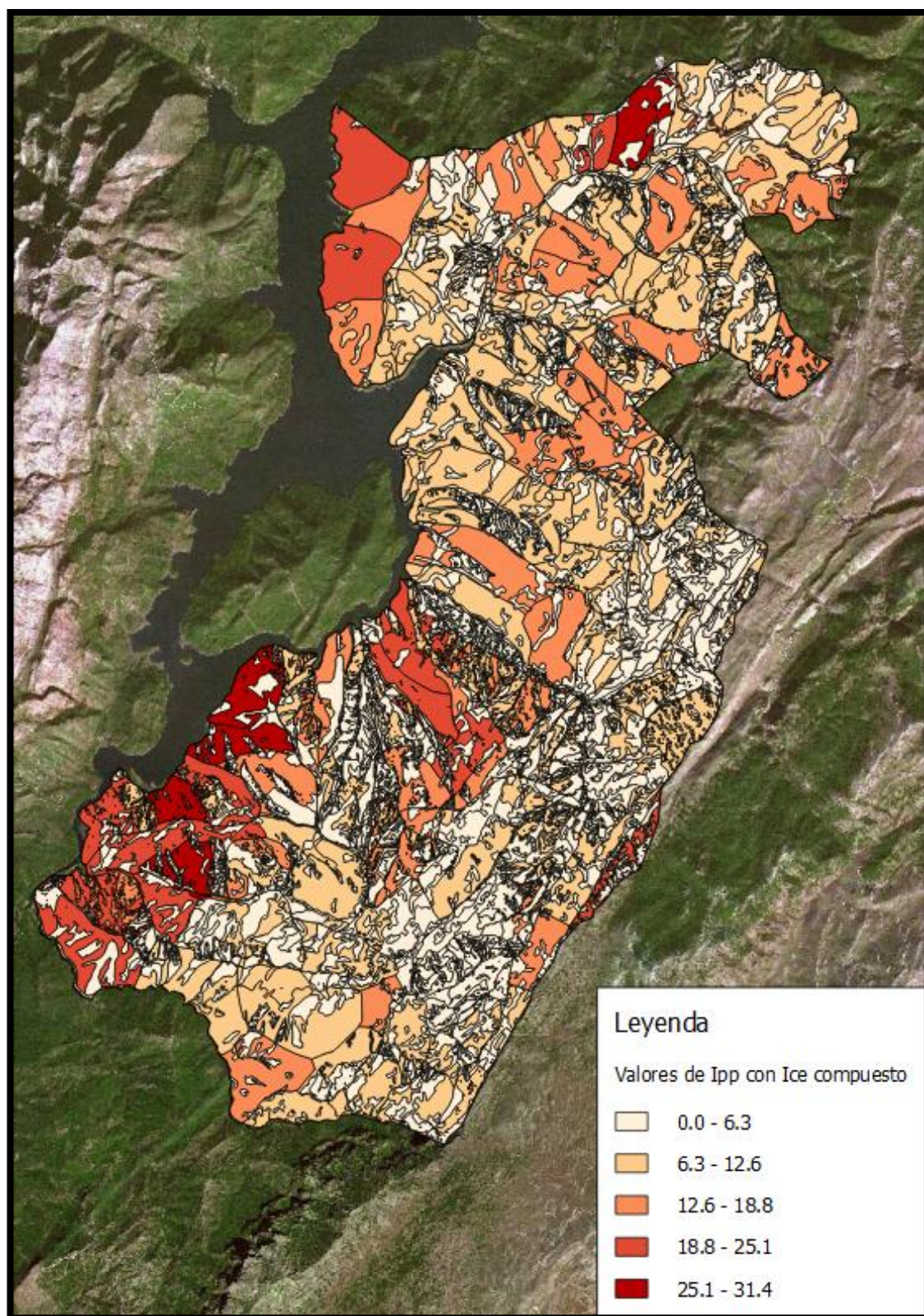


Figura 32: Valores de Ipp con Ice compuesto en "Desde Aguamulas a Montero".

4.2.2. Análisis de la extinción de los incendios forestales:

4.2.2.1. Índice de la dificultad de extinción:

Subíndice de accesibilidad:

En la siguiente figura se puede observar que no existe en la mayoría de la superficie, una red viaria densa (Figura 33).

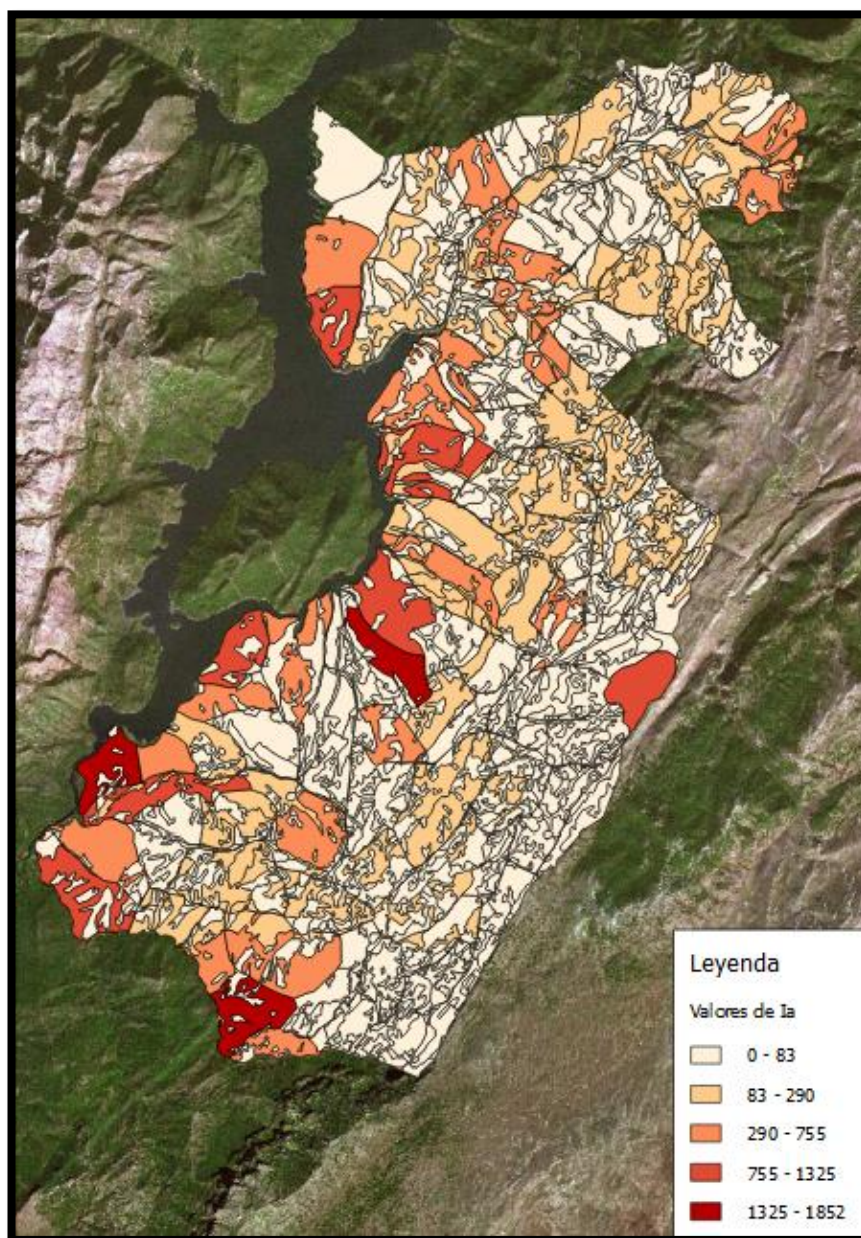


Figura 33: Valores de Ia en “Desde Aguamulas a Montero”.

Subíndice de movilidad:

En esta imagen (Figura 34) se puede apreciar que modelos de combustibles han sido afectados por infraestructuras de prevención de incendios forestales y facilitan la movilidad del personal de extinción, aunque no es algo predominante.

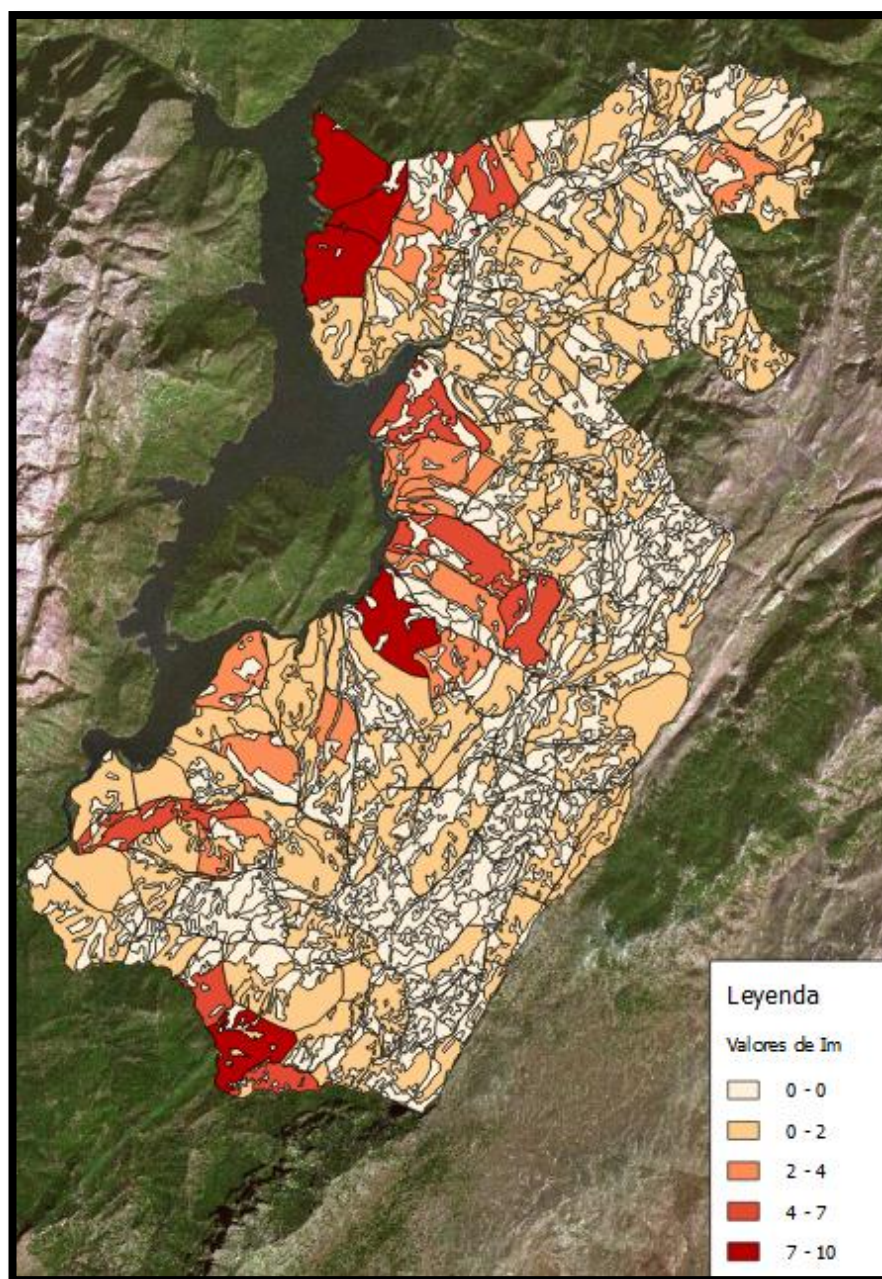


Figura 34: Valores de Im en “Desde Aguamulas a Montero”.

Subíndice de penetrabilidad:

Con este subíndice se puede apreciar que son muy pocas las áreas donde los bomberos forestales pudieran desplazarse fácilmente a pie, predomina una dificultad alta (Figura 35).

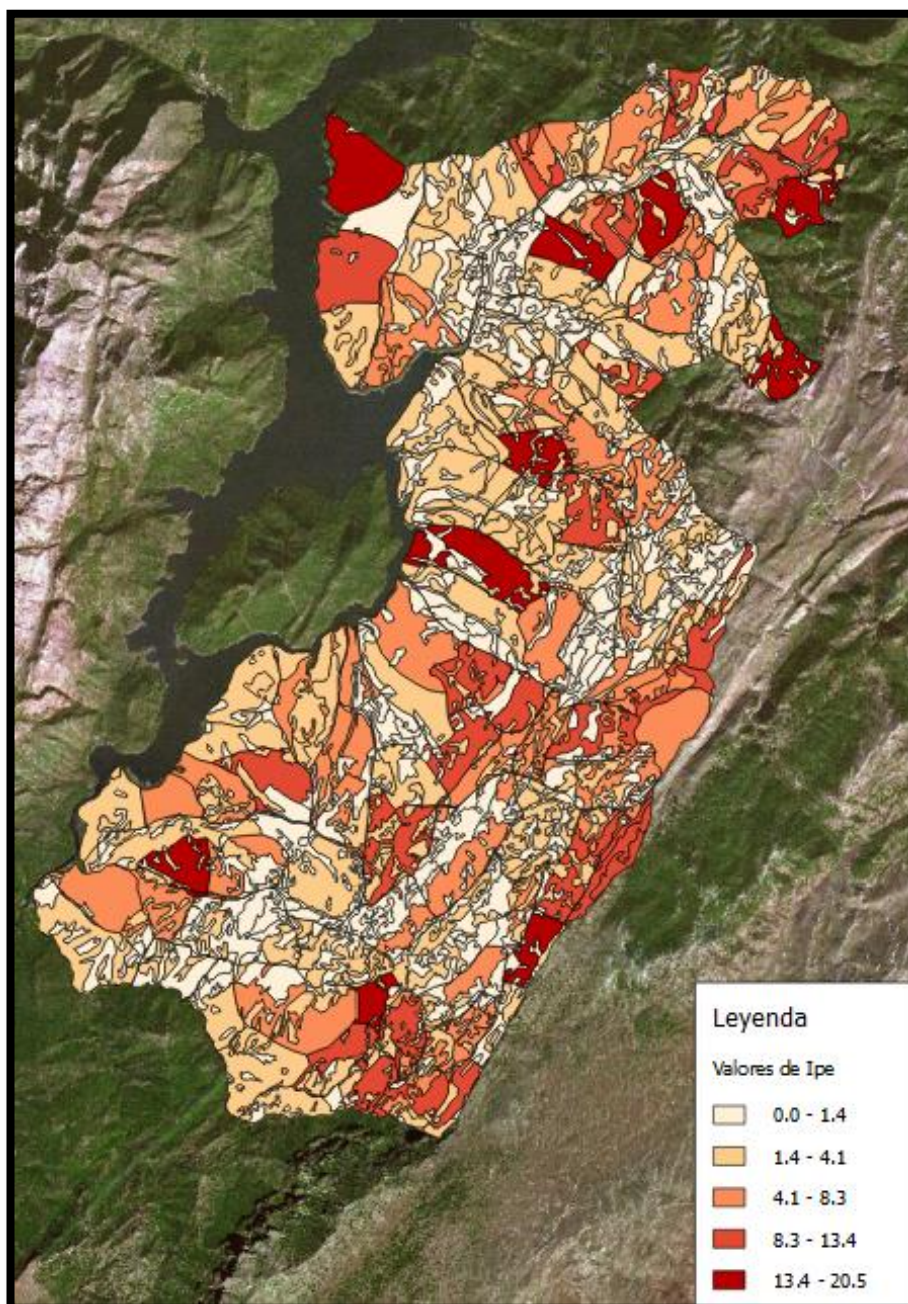


Figura 35: Valores de Ipe en “Desde Aguamulas a Montero”.

Subíndice de recursos aéreos:

En la figura 36 se observa que la respuesta de los medios aéreos es rápida, dada la cercanía de las pistas y puntos para la toma de agua, alcanzando valores altos en la mayoría de la superficie.

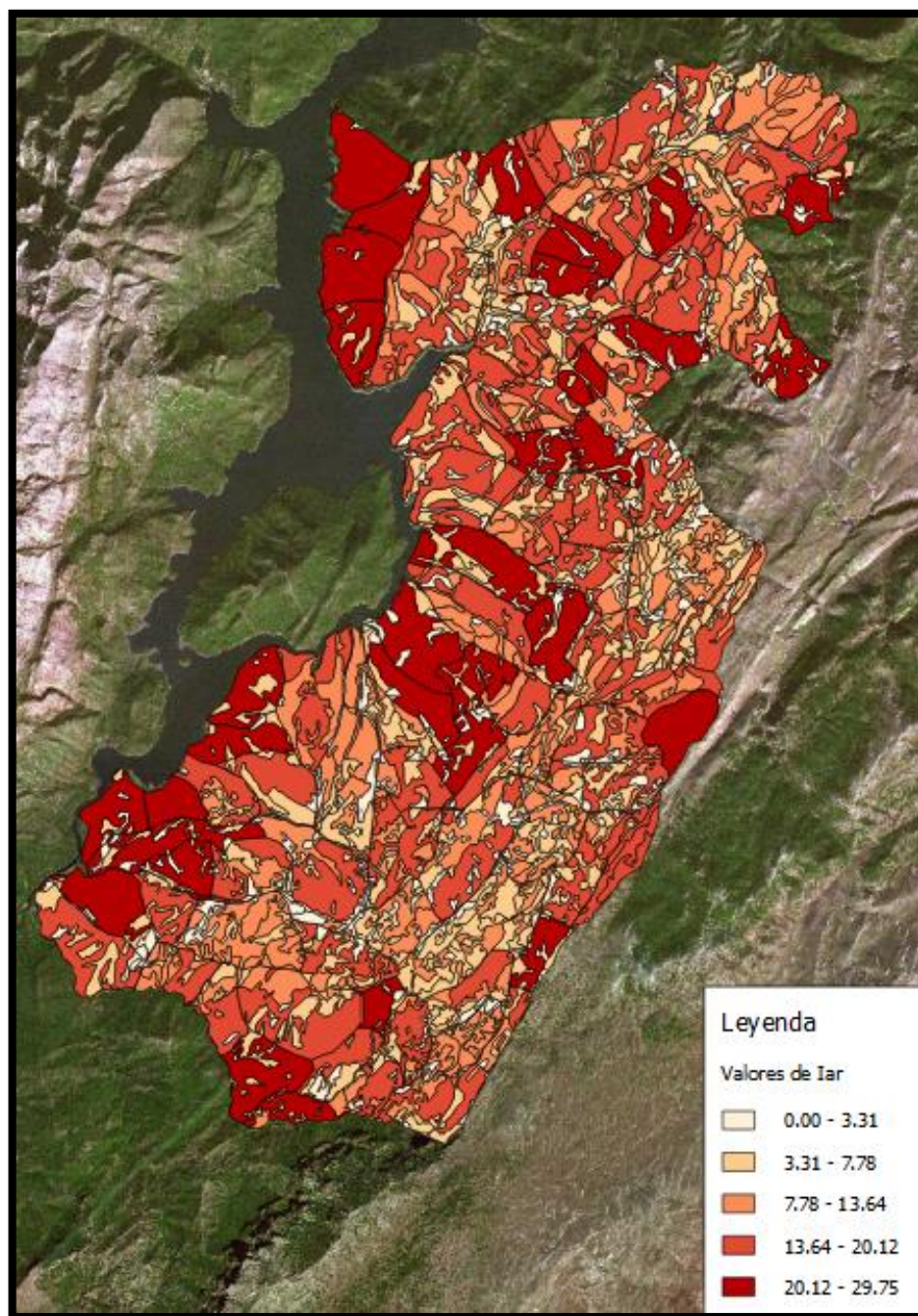


Figura 36: Valores de Iar en “Desde Aguamulas a Montero”.

Subíndice de apertura de líneas de defensa:

Se puede apreciar en la figura 37 que la apertura de líneas de defensa en la zona de estudio, tanto manual como mecánicamente, es extrema en muy pocas zonas, predominando un valor medio - alto.

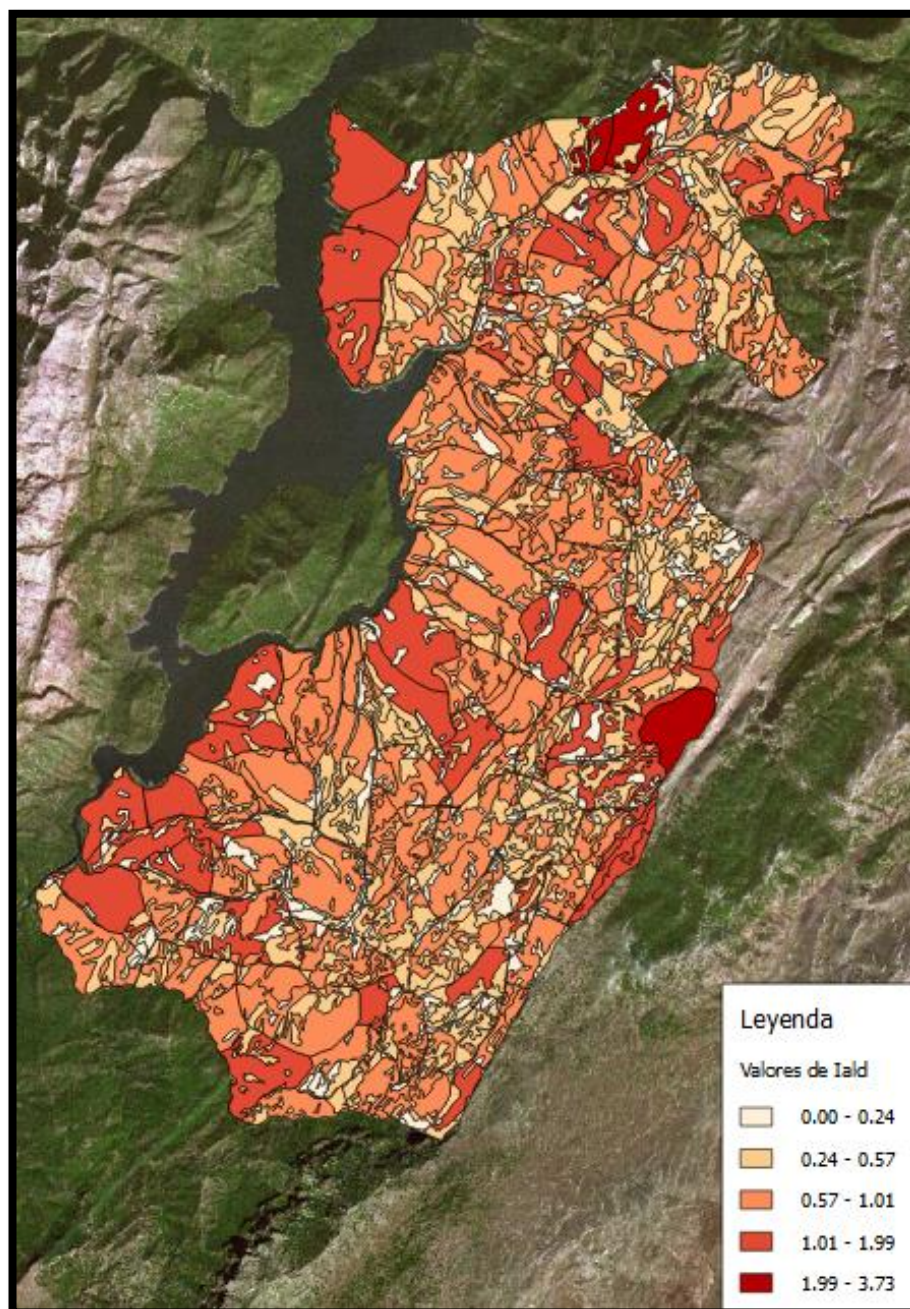


Figura 37: Valores de Iald en “Desde Aguamulas a Montero”.

En la figura 38 se encuentra representado el valor del índice de dificultad de extinción (SDI) obtenido con el subíndice de comportamiento energético de fuegos de superficie y en la figura 39 el mismo índice, pero obtenido con el subíndice de comportamiento energético compuesto por valores de fuegos de superficie, de copas y eruptivos.

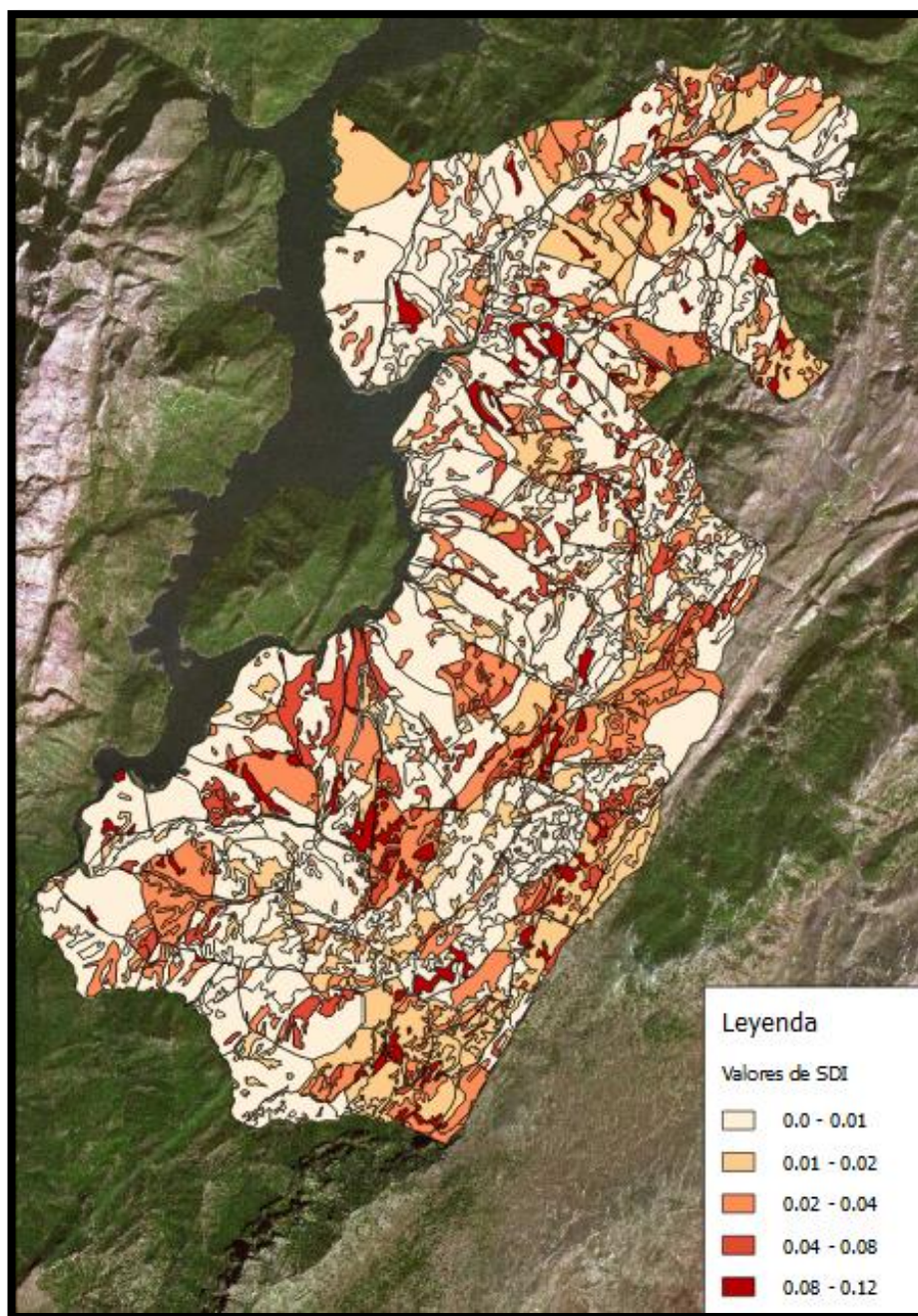


Figura 38: Valores de SDI en “Desde Aguamulas Montero”.

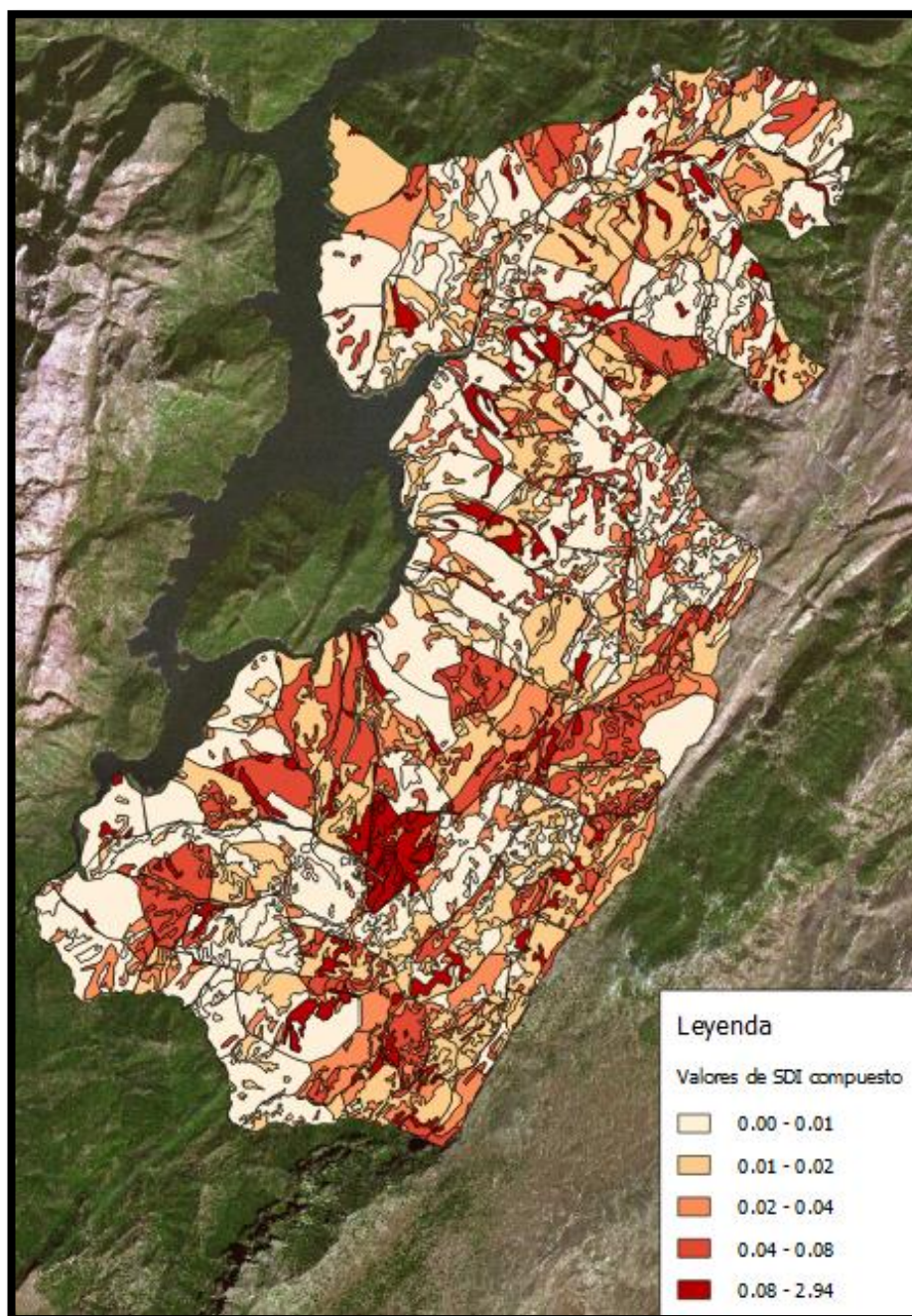


Figura 39: Valores de SDI compuesto en “Desde Aguamulas a Montero”.

Como puede observarse de la comparación entre ambas figuras, existen zonas que, utilizando únicamente el subíndice de comportamiento energético para fuegos de superficie, no se reflejaría, fidedignamente, la peligrosidad que presentan.

4.2.3. Simulación de incendios forestales:

Como se comentó anteriormente varios puntos de ignición fueron localizados en el monte, según unas características, y con el programa FlamMap 5 se procedió a la realización de simulaciones en condiciones meteorológicas extremas y medias, que son las que se representa a continuación (Figura 40):

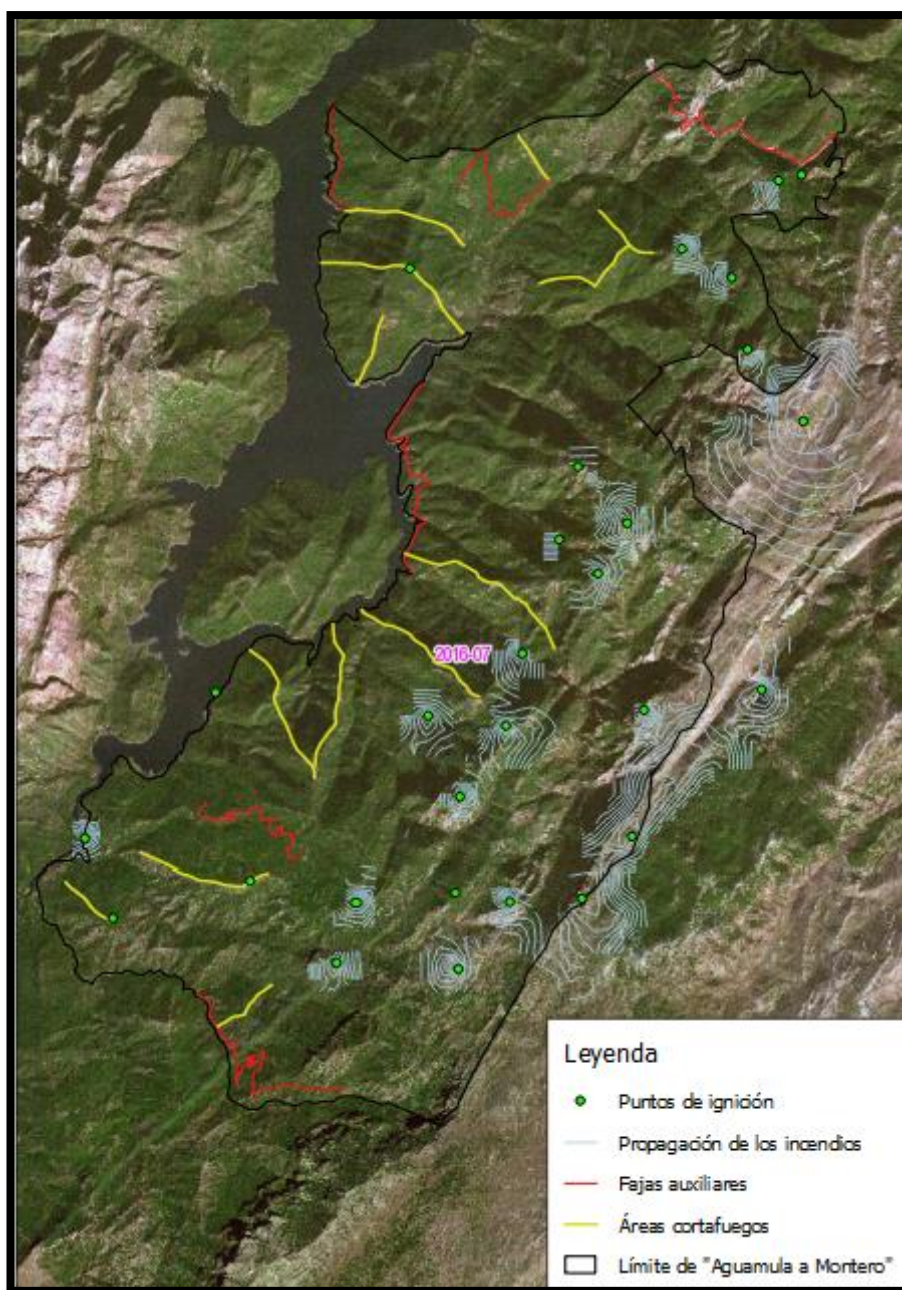


Figura 40: Simulación con condiciones meteorológicas medias en “Desde Aguamulas a Montero”.

De 28 puntos de ignición, 22 han iniciado la propagación espacial del fuego, siendo la superficie afectada media de 117,83 hectáreas, la mínima de 24,03 hectáreas y la máxima de 712,2 hectáreas. Este último incendio forestal potencial se puede localizar fácilmente, en la imagen superior, al noreste fuera del límite de la zona de estudio. Aunque se encuentre fuera de los límites este incendio afectaría a la zona de estudio, al igual que los puntos situados al sureste afecta a superficie fuera de los límites (Figura 41).

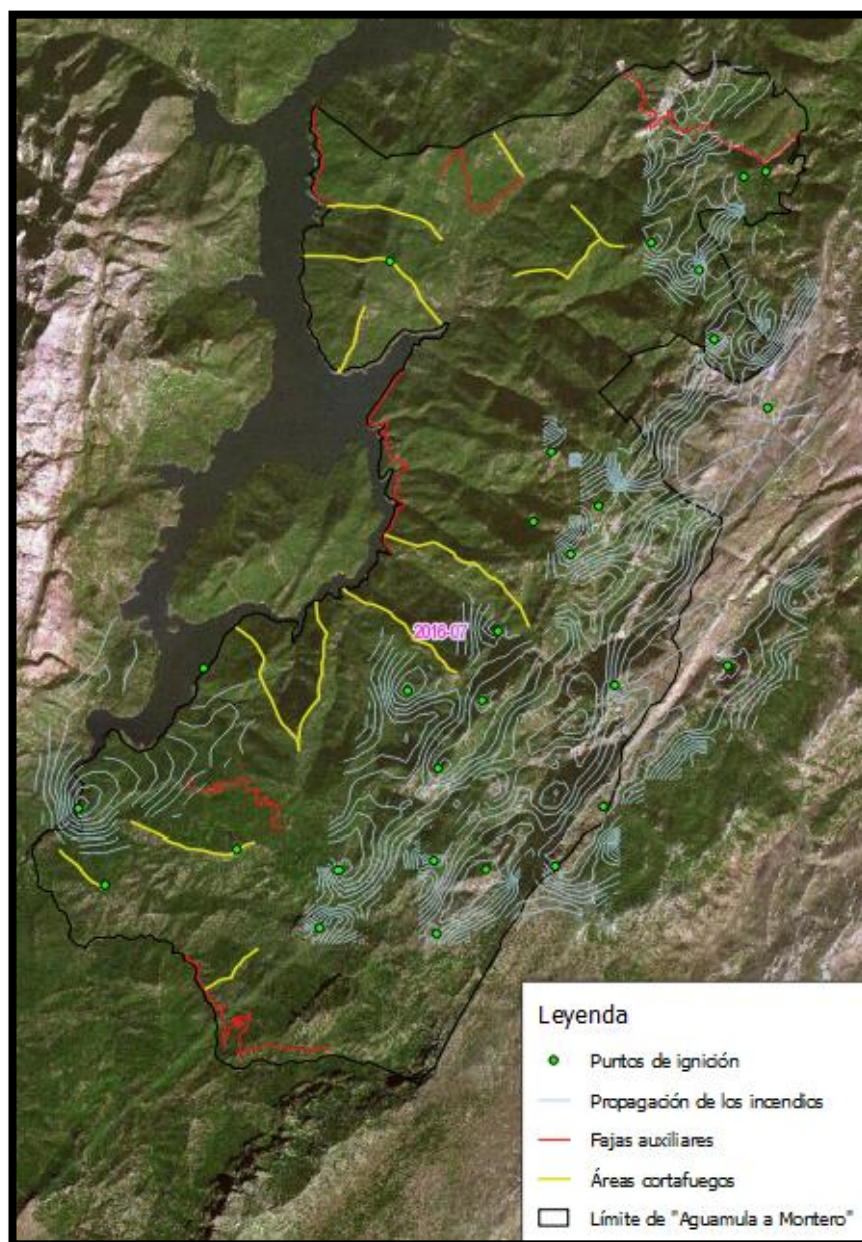


Figura 41: Simulación con condiciones meteorológicas máximas en “Desde Aguamulas a Montero”.

Esta imagen representa la propagación de los incendios en condiciones meteorológicas extremas. En este caso 21 puntos de ignición han iniciado el fuego, aunque sea un número menor estos fuegos afectan a mayor superficie. La superficie media es de 238,97 hectáreas, siendo la mínima de 52,15 hectáreas y la máxima 749,3 hectáreas. Puede observarse como varias infraestructuras evitan o ralentizan la propagación de varios de los focos. También como los fuegos toman la dirección noreste hacia poblaciones como La Ballestera, Casas de Carrasco, Pontón Alto y Pontón Bajo, la velocidad de propagación en esa zona es mayor que en otras, mayoritariamente porque se encuentran pastizales. Se puede apreciar en la imagen, como la ortofoto al ser tomada en julio, la zona se encuentra en un color ocre.

La longitud de llama en relación con la anchura de los cortafuegos presentes, se encuentra reflejado en la tabla 17, a continuación se incluye la figura 42, que muestra la posición de las líneas cortafuego testadas en relación con las dimensiones longitudinales de las llamas de los frentes de fuego que en las simulaciones realizadas, llegan a tomar contacto con ellas. En dicha figura se puede observar la numeración reflejada en la tabla 17:

Tabla 17: Relación entre el ancho de los cortafuegos y la longitud de llama en su extensión. Elaboración propia.

Nº Cortafuegos	Ancho (m)	Longitud de llama (m), condiciones medias	Longitud de llama (m), condiciones extremas
1	60	4-11	4
2	60	4	4-8
3	60	4-11	4
4	60	4	8-20
5	60	4	8
6	60	4	4
7	60	4	4
8	60	4	4-8
9	60	4	4-8
10	60	4-11	4-20
11	60	4	4-8

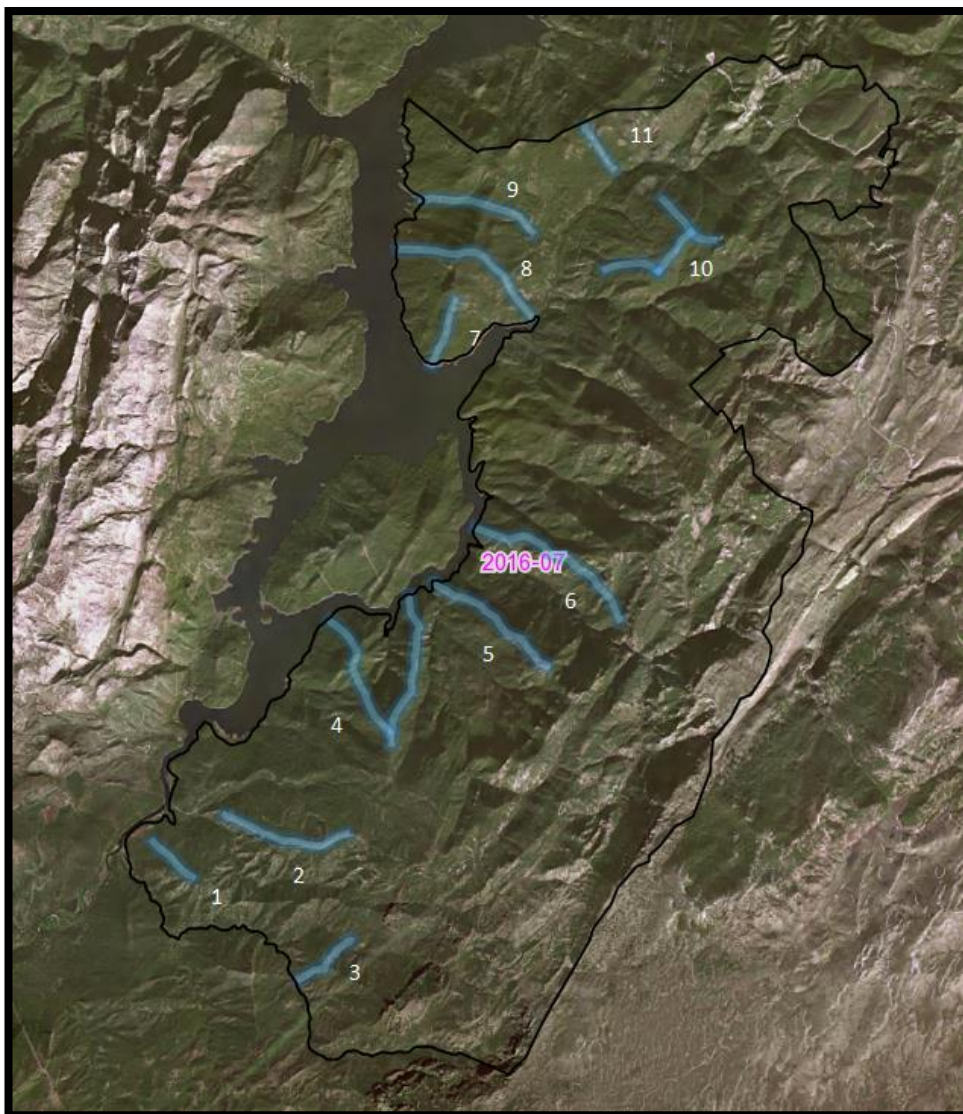


Figura 42: Numeración de los cortafuegos.

4.3. Actualización de la cartografía de modelos de combustible:

Una vez estudiadas las características estructurales que podrían hacer diferenciar los modelos de combustibles UC040 y procesar la información LiDAR se obtuvieron para cada grupo de modelos una capa en formato vectorial. El único grupo que aquí no se muestra es el de pasto-matorral ya que la superficie que ocupa en su conjunto es muy



En la figura 44 se muestra el grupo de modelos referentes al matorral:

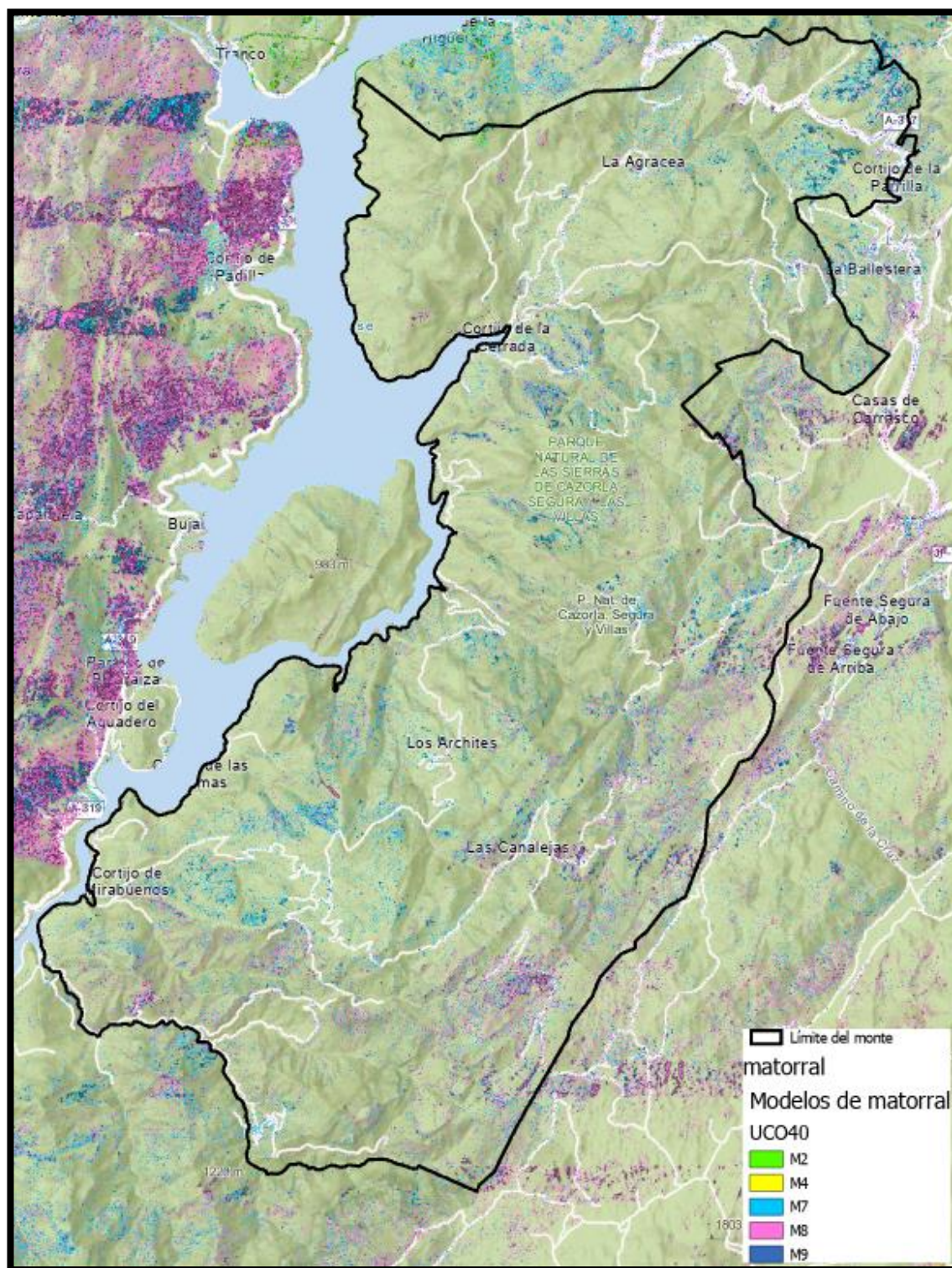


Figura 44: Modelos de matorral en la superficie.

El siguiente grupo que se muestra es el referente a hojarasca pasto y matorral que ocupa una superficie mayor que los dos grupos anteriores (Figura 45).

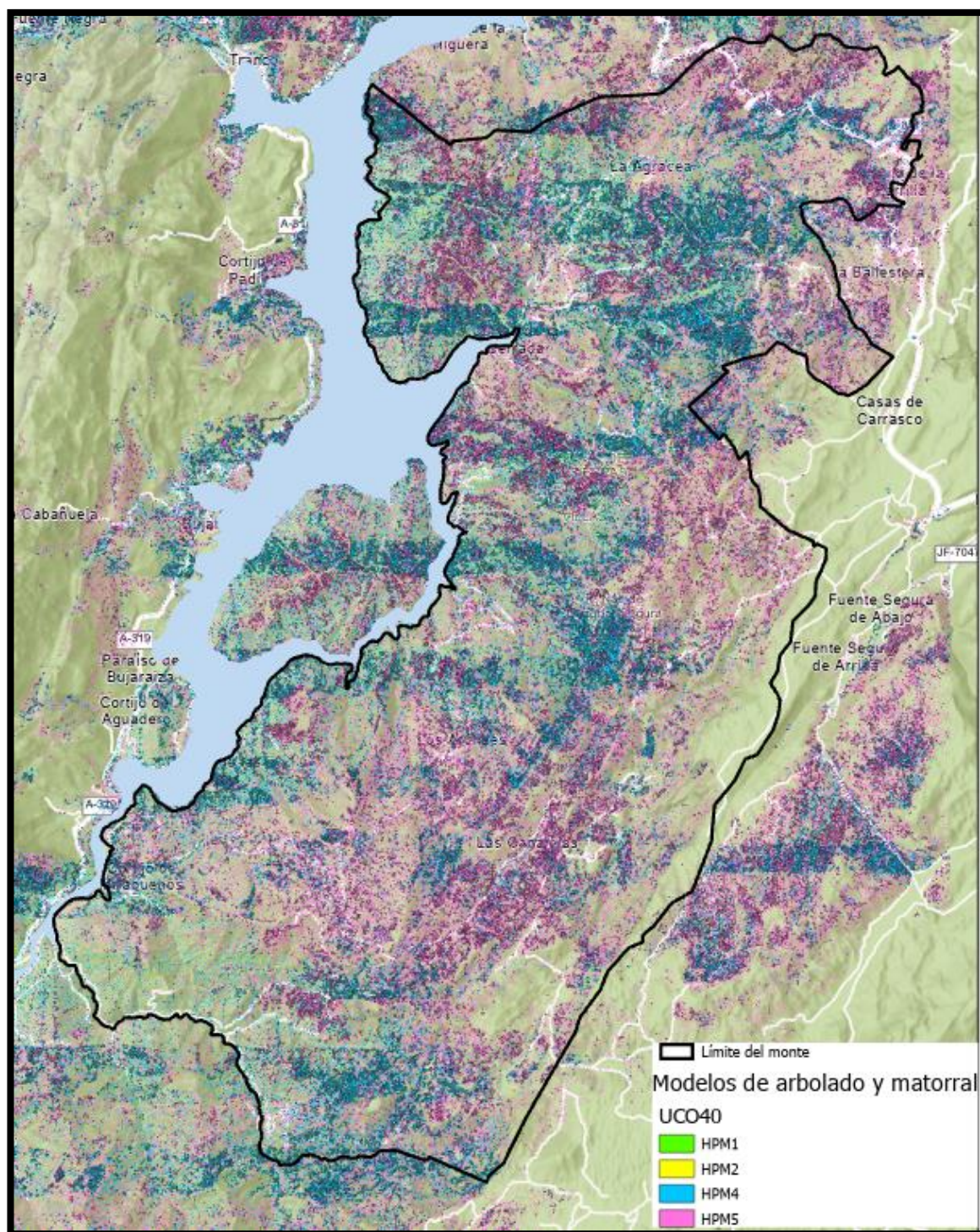


Figura 45: Modelos de hojarasca, pasto y matorral en la superficie.

La figura 46, se muestran los modelos asociados al grupo de hojarasca con restos.

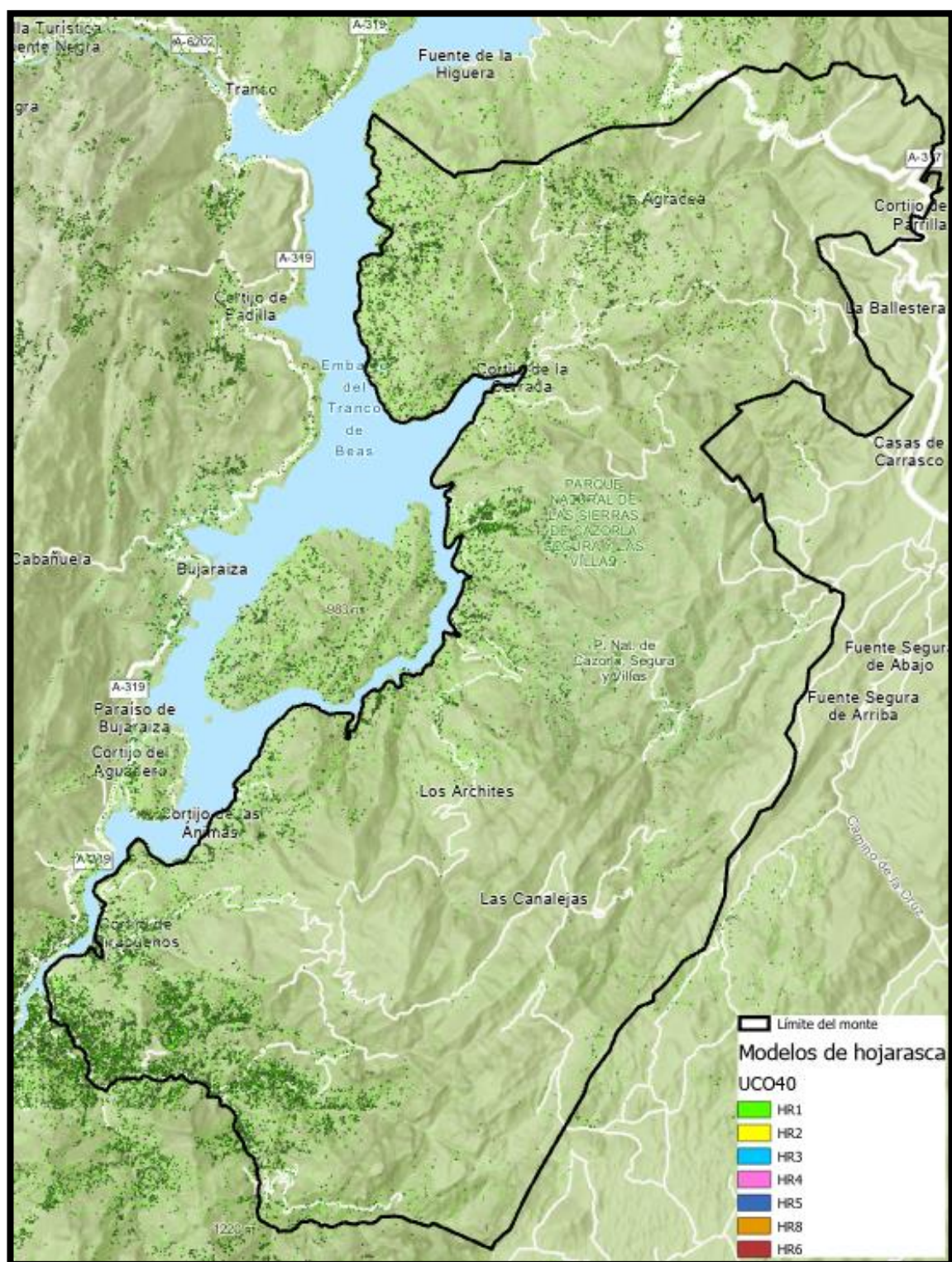


Figura 46: Modelos de combustible de hojarasca y restos.

Se comparó el modelo observado en campo en cada una de las parcelas de muestreo con el modelo predicho a través de la tecnología LiDAR (Tabla 18):

Tabla 18: Modelos observados en las parcelas de campo y modelos predichos con LiDAR.

Parcelas	Modelo observado	Modelo LiDAR
1	HPM4	HPM4
2	M4	M4
3	HPM5	HPM5
4	HR4	HPM4
5	HR4	HR4
6	HR6	HR1
7	HR3	HR1
8	HR7	HR2
9	HR7	HR1
10	HR4	M7
11	HPM4	HPM4
12	HPM5	HPM5
13	HR7	HR1
14	M7	HPM5
15	M4	HPM4
16	HR4	HR1
17	HPM4	HPM4
18	HPM5	HPM4
19	HR7	HR4
20	HR3	HPM4
21	HPM4	HPM4
22	M9	HR1
23	HPM4	HR1
24	M7	HR2
25	HR3	HPM5
26	HPM4	HPM4
27	HPM4	HPM4
28	HPM4	HPM4

A nivel de grupos de modelos de combustible se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla 19):

Tabla 19: Resultados obtenidos entre los modelos observados y predichos por grupos.

Modelo Observado	Modelo predicho			Precisión por grupo de modelo (%)
	Matorral	Hojarasca Pasto Matorral	Hojarasca Restos	
Matorral	1	2	2	40
Hojarasca Pasto Matorral	0	10	1	90,90
Hojarasca Restos	1	3	8	72,73

4.3.1. Densidad aparente de copas *Pinus pinaster*.

El estudio estadístico permitió obtener la correlación entre la densidad aparente de copas del *Pinus pinaster* obtenidas con la metodología de Molina et al. (2014) y las variables obtenidas mediante LiDAR. Se ha obtenido un modelo que relaciona la altura máxima y los segundos retornos por encima de 2,5 metros con el CBD. Varios modelos fueron obtenidos, siendo el que se muestra a continuación el que mejor calidad y precisión proporcionó (Eqn 34):

$$\ln CBD = a + a1 * \ln \text{Altura máxima} + a2 * \ln \text{Segundos retornos por encima de 2,5}$$

(34)

Siendo:

- a: 14,9411
- a1: -9,4178
- a2: 2,4855

El error estándar fue de 0,1632, el R^2 alcanzó un valor de 0,9996 y con un valor de p igual a 0,0118.

Como se puede observar en la gráfica la variable que más influencia tiene de las dos es la de los Segundos retornos por encima de 2,5 metros, al ser su pendiente la más inclinada (Figura 47).

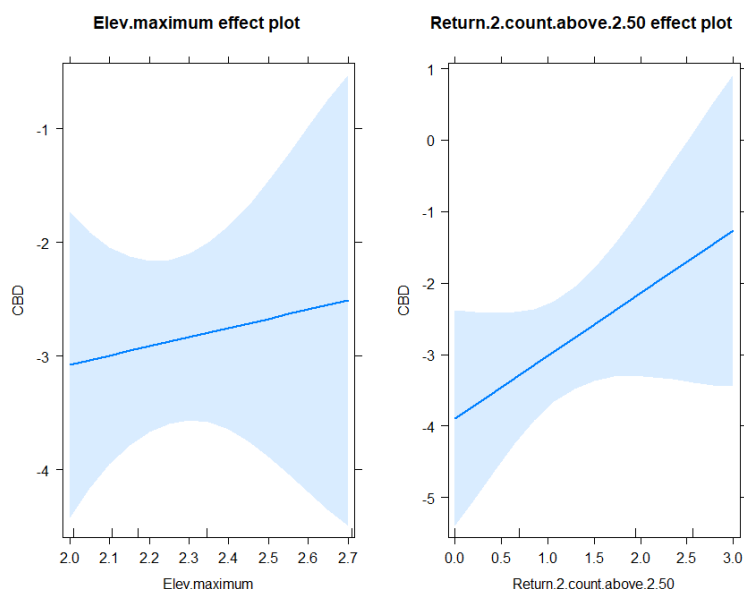


Figura 47: Gráfica de efectos principales.

El error estándar de la estimación (SEE) ha sido de 0,7588 y el factor de corrección (FC) es de 1,3336.

4.3.2. Otras variables dasocráticas.

Con la recogida de datos en campo se obtuvieron variables dasocráticas sobre la altura media del arbolado, diámetro, área basal, altura de la base de las copas, altura del sotobosque, y por ende la distancia Z que representa el hueco existente entre la copa de los árboles y el sotobosque. Se realizó el estudio estadístico de estas variables junto con las obtenidas con LiDAR obteniéndose la tabla 20:

Tabla 20: Modelos de variables dasocráticas.

Variable	Modelo	Parámetro	Estimación	Error estándar	R ²
Altura media	$\ln H_m = a + a_1 * \ln E.P99 + a_2 * \ln I.CV$	a	0,7091	0,1952	0,4393
		a1	0,7458		
		a2	-0,4853		
Altura base de las copas	$\ln HBC = a + a_1 * \ln E. \text{ máx.} + a_2 * \ln I.P1$	a	-0,5335	0,193	0,5973
		a1	0,9890		
		a2	0,2589		
Área basal	$\ln G = a + a_1 * \ln E.L4 + a_2 * \ln 1^\circ R.M. + a_3 * \ln P.A.$	a	-4,5006	0,8448	0,6623
		a1	1,1178		
		a2	-0,4970		
		a3	4,0681		

Variable	Modelo	Parámetro	Estimación	Error estándar	R ²
Diámetro Normal medio	$\ln \varnothing = a + a1 * \ln E.mod. + a2 * \ln T.R.mod.$	a	0,9358	0,2073	0,6001
		a1	0,4592		
		a2	0,5626		
Altura del sotobosque	$\ln Hmat. = a + a1 * \ln E. MAD moda + a2 * \ln I. min. + a3 * \ln 2^\circ R.E.2,5$	a	-8,3944	0,5307	0,5846
		a1	1,3001		
		a2	4,2334		
		a3	0,4808		

Siendo:

- Hm: Altura media.
- E.P99: Percentil 99 de la elevación.
- I.CV: Coeficiente de variación de la Intensidad.
- P.A.: Perfil del área.
- HBC: Altura base de las copas.
- E. máx.: Elevación máximo.
- I.P1: Percentil 1 de intensidad.
- G: Área basal.
- E.L4: Momento L4 de la elevación
- 1ºR.M.: Primeros retornos por encima de la media.
- Ø: Diámetro medio.
- Hmat: Altura matorral.
- E. MAD moda: Moda de la desviación absoluta de la mediana de la elevación.
- I. min.: Intensidad mínima.
- 2º R.E.2,5: Segundos retornos por encima de 2,5 m.
- E.mod.: Moda de la elevación.
- T.R.mod.: Todos los retornos por en encima de la moda (total de los primeros retornos).

En vista de los resultados obtenidos se planteó realizar el estudio estadístico de aquellas variables en las que el modelo no obtuvo los resultados más adecuados, estudiando en este caso la especie dominante en este caso los pinos, obteniendo los siguientes resultados (Tabla 21):

Tabla 21: Modelos obtenidos a partir de información de la masa de pinos.

Variable	Modelo	Parámetro	Estimación	Error estándar	R ²
Altura media	Ln Hm = a + a1 * Ln I. kurtosis + a2 * Ln % T.R.M.	a	0,9703	0,1587	0,8201
		a1	-0,1619		
		a2	0,6587		
Altura base de las copas	Ln HBC = a + a1 * Ln E.L. kurtosis + a2 * Ln % T.R.M.	a	0,9348	0,1985	0,8224
		a1	0,3393		
		a2	0,6747		
Altura Z	Ln H.Z. = a + a1 * Ln E. L4 + a2 * Ln %1ºR.M.	a	0,4188	0,1983	0,8677
		a1	0,3471		
		a2	0,7951		

Siendo:

- H.Z: Altura Z, altura que queda entre la base de la copa y el sotobosque.
- %1ºR.M.: Porcentaje de primeros retornos por encima de la media.
- E.L. kurtosis: Logaritmo de elevación kurtosis.
- % T.R.M.: Porcentaje de todos los retornos por encima de la media.
- I. kurtosis: Intensidad kurtosis.

4.3.3. Peso de copas a nivel de monte.

Como se ha obtenido un modelo para la densidad aparente de copas y existiendo limitaciones en la caracterización de los modelos de combustible se decidió estudiar estadísticamente la posibilidad de obtener el peso de las copas de la masa, obteniéndose el siguiente modelo (Eqn 35):

$$\ln \text{Peso Copa} = a + a1 * \ln \text{T. R. mod.} + a2 * \ln \text{I. L3} + a3 * \ln \%1^\circ \text{R. Moda} + a4 * \ln \% \text{T. R. mod.} \quad (35)$$

Siendo:

- a: 4,7816
- a1: -0,2616
- a2: 0,0445
- a3: -55,07673

- a4: 55,7772
- T.R.Moda: Todos los retornos por encima de la moda.
- I.L3: Momento L3 de intensidad.
- %1ºR.Moda: Porcentaje de primeros retornos por encima de la moda
- %T.R.mod.: Todos los retornos por encima de la moda entre total de los primeros retornos.

El error estándar obtenido es de 0,2156, el R^2 de 0,7331 y con un valor de p igual a 0,0113. El error estándar de la estimación (SEE) ha sido de 0,0246 y el factor de corrección (FC) 2,4334.

Discusión

5. Discusión

5.1. POD:

El procedimiento de clasificación del paisaje forestal desde el punto de vista de su defensa y protección contra los incendios forestales, siguiendo la metodología del establecimiento de polígonos POD, proporciona un nuevo paradigma interpretativo en los enfoques de carácter defensivo. Esta conceptualización propuesta por Thompson et al. (2016), permite la clasificación temática de la zona objeto del estudio, en unidades del territorio en las que, identificando variables de importancia en la explicación del movimiento del fuego y sus efectos, abre una ventana avanzada de posibilidades en la reducción de la incertidumbre y la priorización de las acciones de protección y defensa.

Es decir, de los resultados que se desprenden de la aplicación de esta metodología, se deriva una clasificación de las unidades POD en relación con la aplicación de medidas preventivas y operacionales. No obstante, admitiendo la extraordinaria potencialidad en la aplicación de esta metodología y un importante camino de potenciales desarrollos evolutivos, es importante manifestar que en su origen no fue incorporado un protocolo de ayuda guiada mediante algoritmos para resolver de una parte, cuestiones relacionadas con la optimización del número de polígonos POD requeridos y los correspondientes rangos de variabilidad de la superficie interior y de otra, las consecuencias de una asignación y distribución de polígonos con una visión subjetiva propia de la persona que realiza la aplicación.

En este sentido, y tal y como se ha comentado el epígrafe de material y métodos, la reciente incorporación por parte del USDA Forest Service (Rodríguez et al. 2020) en el proceso metodológico, de la participación grupal con el fin de incrementar la calidad del proceso decisional, constituye un avance cualitativo en la mejor definición de los polígonos POD. Ante esta dificultad y buscando la solución algorítmica, ha sido desarrollado e implementado en el protocolo metodológico e investigado en el marco de la presente tesis, el método de diseño de la malla de celdas regulares por “parcelas vértice”. Este método incorpora un procedimiento para determinar el número de celdas cuadradas y el lado

geométrico de las mismas para aplicar la malla de compartimentación del paisaje. Esta malla, proporciona respaldo científico al contar con tratamiento estadístico para la minimización de errores, y responder a la evaluación de la distribución heterogénea de las cargas de combustibles tanto, en superficie como en el dosel arbolado. Esta mejora incorpora la posibilidad de acotar el escenario decisional al usuario, al facilitar el recinto de la celda para, realizando la interpretación de las variables definitorias de la poligonación POD, identificar sujeto a una acotación, la definición final de POD. Por otra parte, la disponibilidad de los modelos predictivos generados en la presente tesis para determinar el número de POD por celda y el valor de la menor superficie, constituyen soluciones que aportan una marca eficiencia y objetividad en el proceso de identificación de los polígonos.

De acuerdo con lo indicado anteriormente, la formulación de la pregunta por parte de la persona que pudiera realizar el análisis y diseño de la delimitación: ¿Qué número y tamaño deberían de tener los POD a identificar y establecer?, ha quedado resuelta a partir de los resultados de las investigaciones que de acuerdo a lo indicado anteriormente, han permitido encontrar con solvencia científica, el procedimiento operacional con base algorítmica para establecer los POD necesarios en la zona objeto de estudio.

El protocolo de ayuda algorítmica desarrollado se apoya en la metodología estadística utilizada para la elaboración de inventarios forestales, siendo necesario realizar un pre-muestreo en la zona en estudio, para en función de la distribución de las cargas de combustibles tanto en superficie como en el dosel arbóreo, determinar en base al método de monitoreo por rangos según transectos, el número de celdas regulares de muestreo.

Para la determinación final de la caracterización del rango de carga representativo por cada parcela de muestreo, ha sido determinado un algoritmo que armoniza matemáticamente, el efecto de los rangos de combustibles superficiales y los aéreos de cada parcela. En el denominador de la correspondiente expresión matemática, el rango correspondiente a los combustibles en copa tiene asignado un factor de 0,2. Este factor incorpora la minoración de la representatividad de la carga de combustibles en el dosel asignada en un 20% de efectividad. Ello se justifica por dos cuestiones, la primera por no incluir combustibles finos muertos (lo que obviamente imposibilita el proceso de ignición), y la segunda la necesaria confluencia de factores favorables que han de producirse para que

las reacciones de combustión propicien una transición del fuego de superficie a las copas de los árboles. Estas circunstancias ya fueron analizadas y demostradas en las investigaciones desarrolladas a través del proyecto RTA2010 INFOCOPAS, (Rodríguez et al. 2017a). Determinada la variabilidad de los rangos de los combustibles y de acuerdo con el procedimiento descrito en material y métodos, se obtiene el número de celdas y su lado. Es importante indicar que el número final de celdas, que proporciona el protocolo desarrollado, facilita el número mínimo de celdas requeridas, el número final irá condicionado por el efecto borde que impone el contorno de la zona de estudio.

El modelo predictivo obtenido para la determinación del número de POD a considerar por cada celda, ha presentado un buen ajuste con un coeficiente de determinación corregido (R^2) de 0,9138 y un valor de significancia “p valor” $<0,05$, lo que pone de manifiesto la fortaleza predictiva del modelo desarrollado. Además, los análisis comparados realizados al conjunto de modelos estudiados y generados considerando diferentes combinaciones de variables explicativas, mediante los test de, Akaike, Anna Quin y Swartz, garantizan que el modelo finalmente seleccionado, presenta una alta calidad en lo referente a su especificidad por las variables seleccionadas. Con relación al modelo generado para estimar la superficie mínima de los POD, la significancia de las variables explicativas fue alta, pero el coeficiente de determinación corregido puso de manifiesto que la capacidad explicativa del modelo no superó el 60%. Esto puede ser debido a la alta variabilidad en la superficie de los POD en la cuadrícula ya que es posible que un mismo POD se encuentre en dos celdas contiguas, al ser las celdas, regulares, siendo posible en algunos casos que su delimitación no coincida con los límites que se establezca para los POD. No se realizó un estudio estadístico para obtener la superficie máxima de los POD al estar ésta, delimitada por la propia superficie de la celda.

Uno de los puntos fuertes de la metodología es la posibilidad de su aplicación a territorios de cualquier tamaño ya que la estadística para obtener la dimensión del lado de los cuadrados que conforman la cuadrícula se adapta a cualquier superficie. Además, la gratuidad y accesibilidad de los datos necesarios para poder ejecutar la metodología ofrecen una buena opción informativa de carácter previo para los usuarios que quieran hacer uso de la metodología POD.

Finalmente manifestar qué no existiendo otras opciones metodológicas para la definición algorítmica de POD, no es posible realizar comparativos para poder resaltar diferencias entre los modelos y resultados obtenidos. Otra vía explorada en las investigaciones realizadas fue la utilización de métodos de optimización, pero debido a la complicación en la determinación de la función objetivo y de las correspondientes restricciones, unido a la temporalidad establecida para el desarrollo del presente trabajo, motivó el posponer esta opción para próximos estudios. La metodología desarrollada, incorporando al protocolo definitorio de polígonos POD, el apoyo de los algoritmos predictivos indicados constituye sin duda, una importante reducción de la incertidumbre en la clasificación y priorización del paisaje forestal en relación con el problema de los incendios forestales y abre nuevas oportunidades a futuros trabajos, en los que se puede seguir mejorando la metodología e incrementar la precisión con respecto a delimitaciones realizadas.

5.2. Análisis del comportamiento del fuego:

5.2.1. Índice de peligro potencial:

Subíndice de ignición:

Se puede apreciar en la figura 25 que los mayores pesos se alcanzan en superficies del suroeste, cercanas al embalse del Tranco, y en algunas zonas del norte, esto es debido a las especies de sotobosque que allí predominan. Los valores más bajos no abarcan zonas agrupadas extensas y se encuentran diseminadas por la superficie.

Subíndice de comportamiento dinámico:

Los valores de este subíndice son bajos en la mayor parte del territorio, se puede apreciar como el índice obtiene valores ligeramente más altos en la zona este del monte donde predomina una pendiente alta y hay más predisposición a pastizales donde la velocidad de propagación es mayor.

Subíndice de comportamiento energético:

Comparando las figuras 27 y 30 se puede ver como el índice, mejora sustancialmente con la adición de parámetros que caractericen a potencial propagación del fuego a través del dosel arbóreo y eruptivo en barrancos y redes de drenaje.

Sorprende los valores bajos del peso obtenidos en la caracterización del fuego de copas, esto puede ser debido a que el espacio que queda entre el estrato arbóreo y el sotobosque es lo suficientemente amplio como para que no se generen los procesos de transición. Los valores obtenidos en la caracterización de los barrancos cobran mucha importancia resaltando la zona central y sur donde se alcanza el máximo para el índice de comportamiento energético en propagaciones eruptivas.

5.2.2. Análisis de la extinción de los incendios forestales:

5.2.2.1. Índice de la dificultad de extinción:

Subíndice de accesibilidad:

La representación de este subíndice muestra como en la mayor parte de la superficie no hay una red viaria en la que apoyar los trabajos. Tiene sentido que los mayores valores estén localizados cerca del embalse del Tranco puesto que el camino principal transcurre en su margen y de este se derivan caminos y algunos senderos.

Subíndice de movilidad:

Los resultados son muy parecidos al subíndice de accesibilidad ya que la mayoría de las líneas de prevención se agrupan en localizaciones cercanas al viario, exceptuando la superficie del noroeste en el que es mejor la red de líneas preventivas que el viario existente.

Subíndice de penetrabilidad:

Por lo que se puede observar en la figura 35, la dificultad para andar a pie en el monte es baja a excepción de algunas superficies distribuidas cerca de la carretera en el norte del monte, o el camino perimetral al embalse del Tranco.

Subíndice de recursos aéreos:

Este índice es el que mayores valores alcanza y se aprecia que los medios tendrían una pronta respuesta y actuación en la superficie, ya que los puntos de partida de estos están cerca y el punto de agua podría ser el mismo embalse del Tranco.

Subíndice de apertura de líneas de defensa:

El subíndice de apertura de líneas de defensa es de medio-alto para la mayoría del territorio, exceptuando algunas zonas en las que el modelo de combustible no permite que los rendimientos del personal y las máquinas sean lo suficientemente alto.

Una vez obtenido el índice de Dificultad de Extinción en la figura 38, se puede ver que los valores más altos se encuentran predominantemente en la parte central sur y sureste. Comparándolo con la figura siguiente, que representa los valores del SDI compuesto, se observa que las mismas zonas poseen en realidad una dificultad de extinción mucho más alta de lo que se ha estimado, debido, ésta nueva apreciación sobre su extinción, a la inclusión del Ice para fuegos de copas y de erupción, y deja ver puntos donde no sería posible realizar labores de extinción además de poder suponer un peligro grave de atrapamiento para los medios que pudieran localizarse en dichos escenarios.

La alta dificultad de extinción localizada en el sureste es debido, en parte, al bajo índice de accesibilidad, ya que no existe un entramado viario y/o de infraestructuras de prevención, que permita llegar, además del alto potencial de los incendios.

Mediante este método se pueden localizar dos barrancos en los que la actividad del fuego sería muy alta, más de cuatro veces el valor obtenido para fuego de superficie, y rodeados por varios en los que su potencial energético no sería tan alto, pero si con un subíndice de más 3,076. En la figura 29 se aprecia que se localizan en el límite de la zona con el embalse del Tranco desde su mitad hacia el sur.

5.2.3. Simulación de incendios forestales:

Se puede observar, en las simulaciones de las propagaciones potenciales realizadas en los dos barrancos con un alto potencial energético, nombrados anteriormente, de igual

modo se observa que en las figuras 40 y 41, uno de ellos no posee un alto índice de peligro potencial aun cuando el subíndice de comportamiento energético si lo es, esto se debe a que el subíndice de ignición de la zona es bajo.

De las simulaciones realizadas se puede comprobar la utilidad de los cortafuegos existentes localizados estratégicamente en los puntos más altos y perpendiculares a la dirección usual del viento. Lo que permite influir en el causante principal de incendios de la zona: el rayo; y que, en el caso de propagarse un incendio con la dirección del viento predominante, van a poder dificultar su avance y permitir actuar a los medios de extinción.

También revela que la parte este del perímetro no posee suficientes infraestructuras para evitar una propagación y disminución de la capacidad potencial del fuego alta, coincidiendo con los resultados obtenidos en el SDI compuesto. Además del punto de ignición situado al suroeste del monte, cuya localización es en un lugar turístico, y contando con condiciones meteorológicas extremas, se propagaría por ambas laderas del embalse del Tranco, aunque las infraestructuras cortafuegos localizadas en una de las laderas afectadas de la zona de estudio dificultaría la propagación del fuego hasta detenerlo, en la otra ladera no se detendría hasta llegar al incendio ocurrido en 2005.

5.3. Actualización de la cartografía de modelos de combustible:

A través de la caracterización de los modelos de combustible se ha podido observar como en la superficie predominan los modelos asociados al estrato arbolado y entre ellos el HPM4 y HPM5. No se han obtenido resultados muy precisos en cuanto a la caracterización individual de los modelos con un 39,28% de acierto, aunque si se han obtenido buenos resultados a nivel de grupo. Esto indica que en la mayoría de los casos el modelo individual predicho se ha asociado a otro cercano dentro de su mismo grupo, por lo que sería necesario ajustar la precisión de la individualización. El número de veces que un modelo de hojarasca y restos ha sido confundido con uno de hojarasca pasto matorral es relativamente elevado por lo que sería adecuado estudiar esos casos concretos para conocer el ajuste de las variables o incluso añadir alguna nueva. La precisión del grupo de los matorrales es baja y se confunde con los grupos asociados a arbolado, quizás sería buena idea incluir la variable de área basal para conocer la espesura del arbolado y poder discernir mejor, en qué casos

ésta es lo suficientemente elevada para poder considerarla como un factor limitante, para así saber si pertenece a un grupo u otro. Otra posibilidad es que se hayan realizado actuaciones entre el vuelo y la visita a campo por lo que la estructura obtenida con LiDAR no representaría la realidad y por tanto el modelo predicho.

Otros autores han realizado esta misma caracterización, pero para otros modelos de combustible como es el caso de Jakubowski et al. (2013), que empleó árboles de regresión y algoritmos de máquinas de vectores de soporte, además de la combinación de LiDAR con imágenes satelitales para generar una caracterización de los modelos de Scott y Burgan (2005), obteniendo un valor de 45% en la caracterización individual de los modelos y un 72% de precisión en la estimación por grupos de modelos. En el trabajo de González-Olabarria et al. (2012) se caracterizó los modelos de combustible de Anderson (1982), obteniendo una precisión para caracterizar modelos individuales de 39% y por grupo de 64,5%.

Para mejorar los resultados obtenidos sería adecuado realizar varias visitas a campo para obtener información sobre los modelos y así tener una base de datos más extensa que permitiera definir mejor los factores limitantes e incluso utilizar técnicas de aprendizaje automático. Otra forma de ampliar el trabajo sería conocer exactamente la carga de combustibles en distintas parcelas para intentar buscar una asociación entre estas y la información obtenida con LiDAR. La combinación de estas dos posibilidades generaría mucha información que permitiría un estudio más avanzado y completo de los modelos de combustible UCO40.

5.3.1. Densidad aparente de copas *Pinus pinaster*.

La existencia de un modelo previo para definir la densidad aparente de copas permitió realizar este estudio, ya que no era viable la realización de muestreos por métodos destructivos (apeo de pies) y su clasificación para poder conocer este parámetro, aunque con ello se debió de asumir el error al ser una estimación.

El resultado de este trabajo resalta la capacidad de LiDAR para realizar estimaciones de combustibles en la copa, aunque esto ya era un precedente conocido ya que Andersen et al. (2005) ya lo utilizó para obtener variables relacionadas para los combustibles en copas

de una especie en concreto al igual que en este caso. Es importante resaltar que los vuelos LiDAR utilizados en el trabajo de Andersen et al. (2005) tenían otras características a los utilizados en este trabajo. La mayor diferencia reside en el número de pulsos, ya que en el presente trabajo es de 0,5 pulsos/m², mientras que en el suyo fue de 3,5 pulsos/m². Esto indica que ellos contaban con una información mucho más precisa del territorio, un ejemplo de los beneficios en ese aumento en los pulsos/m² es que ese aumento permite que sea más alta la probabilidad de que un pulso impacte en el ápice de los árboles, y no en un lateral de la copa.

En su caso, el modelo generado relaciona los primeros retornos con los percentiles de la altura, unos resultados muy parecidos al que se exponen en este trabajo donde se relaciona con la altura máxima y los segundos retornos por encima de 2,5 metros. Tiene sentido ya que son variables que definen la copas, el primero estimando la altura máxima del árbol y el segundo se trata de los retornos que han impactado por debajo del primer retorno y que seguramente se encuentre dentro de la copa.

El modelo obtenido está muy correlacionado con la estimación de la densidad aparente de copas que se obtuvo con un R² de 0,9996 y con un valor de significancia igual a 0,0118.

Aunque esto es un adelanto a la hora de caracterizar los combustibles, es difícil su aplicación a otras zonas distintas al parque Natural Sierra de Cazorla, Segura y Las Villas, ya que la calidad de estación y la morfología de la especie cambia según su localización. Esto puede limitar su utilización, pero siempre sería posible localizar otras zonas con características similares para realizar su aplicación y estudiar los resultados obtenidos. Lo mismo ocurre en la zona de estudio, se podrían realizar estimaciones, nuevos inventarios y apeo de árboles para así conocer la fiabilidad entre lo estimado y los datos de campo. Esto no ha sido posible de ejecutar en el presente trabajo pues, aunque se poseía la información dasocrática de campo de los árboles apeados en el artículo de Molina et al. (2014), el apeo de los pies se realizó en 2013 y el vuelo aquí empleado es posterior a esa fecha por lo que no se tiene información LiDAR.

5.3.2. Otras variables dasocráticas.

La utilización del LiDAR del PNOA para estimar variables dasocráticas presenta algunas limitaciones. En la tabla 20 se pueden ver las estimaciones realizadas para la combinación de los dos estratos arbóreos existentes en el monte, *Pinus* spp. y *Quercus* spp. Como se puede observar la altura media y la altura de la base de las copas no obtuvieron buenos ajustes, aunque sí una buena significancia de las variables, estando muy relacionadas con datos relacionados con la altura máxima y la intensidad, que es utilizada para conocer el Fracción de Cobertura (FCC).

Algo parecido ocurriría con otros parámetros como son: el área basal, el diámetro normal y la altura del sotobosque. Esto se debe a que la densidad de pulsos es baja por lo que es difícil que un número alto de ellos traspase la copa de los árboles proporcionando información de la vegetación debajo de éstas. En la zona en estudio las copas suelen cubrir toda la parte aérea sin dejar huecos, es posible que en zonas más abiertas como una dehesa sea probable que el estudio de las características dasocráticas con la información LiDAR del PNOA arroje mejores resultados.

Para confirmar que esto era correcto, se realizó el mismo estudio estadístico esta vez utilizando las características dasocráticas diferenciándolas por especie, obteniendo para la masa de pinos los resultados mostrados en la tabla 21. No se han detallado los obtenidos para los *Quercus* spp. ya que los resultados eran únicamente definitorios para realzar lo que anteriormente se ha indicado, que la baja densidad de pulsos dificulta obtener información en masas con dos estratos, encontrándose uno de ellos dominado. Además, las parcelas muestreadas tenían todas pies de *Pinus* spp. mientras que no todas ellas tenían *Quercus* spp. por lo que estadísticamente el muestreo para caracterizar esta última masa debería de aumentar el número de parcelas a realizar.

Los modelos generados para la altura media y altura de la base de las copas para *Pinus* spp., mejoraron sustancialmente al modelo mixto generado. Habiéndose obtenido un buen modelo para la base de las copas se decidió estudiar estadísticamente la generación de un modelo para el hueco entre las copas y el sotobosque, aunque el modelo de la altura del sotobosque no fue decisivo. Sorprendentemente se obtuvo un modelo con un R^2 de

0,8677 por lo que es posible definir otra variable indispensable para la caracterización de los incendios, permitiendo ello realizar cálculos y simulaciones para conocer aquellas localizaciones donde sería posible una transición de fuego de superficie a fuego de copas.

No se realizó un modelo para estimar el diámetro de la copa ya que este es muy variable y además existen metodologías muy desarrolladas a este respecto que combinan LiDAR con fotogrametría para su definición obteniendo resultados sorprendentes, llegando incluso a diferenciar especies (Tusa et al., (2020)).

Los modelos resultantes son buenos comparados con otros trabajos en los que se realizó el análisis estadístico con datos LiDAR con una densidad de puntos mayor, como puede ser, el desarrollado por Becker y Keefe (2020), en el que la densidad era de más de 4 pulsos/m² y obtuvieron para la variable área basal un R² de 0,63.

5.3.3. Peso de copas a nivel de monte.

De la información obtenida del inventario realizado, se generaron estimaciones del peso de las copas (carga de combustible Kg/m²) para la masa existente en la zona de estudio, permitiendo caracterizar un parámetro de importancia en la predicción de la propagación del fuego. Esta modelización predictiva tiene como limitante, que al igual que el modelo generado para la densidad aparente de copas del *Pinus pinaster*, sea específico de la zona por las mismas razones. El modelo ha aportado una heterogeneidad a los rangos de los modelos de combustible asociados al arbolado, aunque no se ha introducido esta variable en el grupo de modelos de hojarasca, pasto y matorral, se podría estudiar en un futuro su inclusión.

En el trabajo de Marino et al. (2016) se estima la densidad aparente de copas con dos tipos de vuelos, uno con densidad baja, provenientes del PNOA por lo que posee las mismas características que los utilizados en el presente trabajo, y otro vuelo con una densidad algo mayor (1,5 pulsos/m²). Sorprende qué de los modelos generados para caracterizar la densidad aparente de copas, el generado con una menor densidad obtuviera una R² mayor. Por lo que se puede decir qué para características dasocráticas estructurales, si es mejor utilizar vuelos con una densidad mayor de pulsos, pero para estimar la densidad aparente de copas no sería el caso. Para confirmar esto de forma total sería conveniente

probar en distintas tipologías de bosques y masas forestales para así conocer mejor las limitaciones y cuáles serían los vuelos óptimos de utilizar.

En este trabajo no se ha estimado la densidad aparente de copas, únicamente el peso. Para obtener este parámetro sería necesario utilizar el modelo generado para la altura de las copas, pero faltaría el diámetro de las copas para obtener el volumen a partir de comparativas con cuerpos geométricos a fines a la copa de los árboles estudiados. Como se ha comentado no se ha realizado la estimación del diámetro de la copa de los árboles, al existir metodologías combinadas que presentan buenos resultados, pero en los que sería necesario la utilización de imágenes de alta calidad y un tamaño de pixel pequeño, que son muy costosos.

Conclusiones

5. Conclusiones

Los incendios forestales ocurridos en las últimas anualidades en el Parque Sierra de Cazorla, Segura y Las Villas ponen de manifiesto la necesidad de analizar las infraestructuras existentes y actualizar la información que se posee no solo de ellas sino también de las masas forestales. Esto es debido al cambio de uso productivo al uso protector/turístico, el cual lleva instaurado las últimas décadas y que ha generado una masa homogénea. A este escenario hay que añadirle la climatología que en los últimos años hace que sea más favorable el desarrollo de incendios forestales. De la superficie estudiada se desprende que, aunque en la zona no haya ocurrido ningún incendio forestal en varias décadas, es posible que ocurra, siendo varios de los grandes incendios acaecidos en zonas circundantes provocados por rayos.

Respecto a los objetivos marcados estos son los resultados alcanzados:

- Del estudio derivado del uso de la tecnología LiDAR se ha desprendido que es viable su utilización para obtener variables dasocráticas y de combustibles forestales, así como modelizar modelos de combustibles, con algunos limitantes, por lo que el objetivo marcado se ha cumplido.

Al utilizar vuelos con libre acceso online para su descarga y que se van actualizando (en la actualidad se está realizando otro vuelo PNOA), se pone en disposición su utilización para poder generar la cartografía necesaria y actualizada para un estudio similar. Esto permite que las decisiones tomadas en el territorio no queden desfasadas e incluso un mayor conocimiento que un inventario de campo proporcionaría, ya que la zona tiene superficies con altas pendientes y una escasa red viaria lo que da lugar a zonas que posiblemente queden sin inventariar y un aumento en los costes. Además, su aplicación puede ser en zonas cercanas al monte en estudio por lo que se puede actualizar y caracterizar una superficie mayor.

Este interés en la capacidad de la información LiDAR deriva de la falta de actualización en la cartografía de los modelos de combustibles existente en la actualidad en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Esto hacía que el estudio realmente no se realizara con datos actuales sino con información del 2006-2007 por lo que realmente la información extraída de las simulaciones y caracterizaciones de un incendio forestal podrían subestimar o sobrestimar la realidad.

Cualquiera de los dos casos sería de efectos negativos en una superficie protegida como la que aquí se estudia. En el caso de subestimar las actuaciones que podría derivarse del trabajo, serían ineficientes y las actuaciones de los medios terrestres podrían verse comprometidas al igual que su propia seguridad. En el caso de sobreestimar se podrían realizar actuaciones de prevención sobredimensionadas perdiendo el territorio protegido recursos e incluso posiblemente valorización al verse alterado el paisaje que conforma.

- Ha sido posible obtener un modelo que permite conocer la densidad aparente de copas para el *Pinus pinaster* en la zona, al igual que otro modelo para obtener una variable asociada a esta, que es el peso de la parte aérea de los árboles. Estos modelos facilitan la obtención de parámetros necesarios para realizar simulaciones de incendios forestales además de aportar información de relevancia en la superficie ya que la mayor parte de esta está cubierta por un estrato arbóreo. Además, el modelo de los pesos ha sido necesario para poder realizar la clasificación de los modelos de combustibles asociados a hojarasca y restos, ya que a menor peso de copas menor debe de ser la capa de acículas en la superficie.

- Se han realizado los cálculos necesarios para obtener índices que representen el riesgo, peligro y dificultad de extinción en la superficie. Los primeros cálculos corresponderían únicamente al fuego de superficie a los que seguidamente se les ha añadido los componentes necesarios para tener

en cuenta el comportamiento energético del fuego de copas y eruptivo, pudiéndose observar como en la superficie tiene gran importancia tener en cuenta el fuego eruptivo debido a la orografía. De estos cálculos se puede obtener cuales son las fortalezas y debilidades del territorio además de poder saber que variable es la que condiciona el comportamiento y extinción de un posible incendio forestal, por lo que sería posible modificar dicha variable previamente para crear condiciones óptimas para la extinción.

Para apoyar los cálculos se realizaron simulaciones de incendios forestales en condiciones meteorológicas medias y extremas. Se puede destacar que en cualquiera de las situaciones las infraestructuras preventivas tendrían posibilidades de frenar incendios, pero la baja red viaria existente en el terreno dificultaría la posibilidad de que los medios terrestres pudieran ejecutar las actuaciones de extinción en las zonas más favorables. Por ello en el caso de darse un incendio forestal, los medios aéreos podrían actuar, pero las operaciones de extinción estarían comprometidas, pues sin lugar a duda los medios terrestres aportar una gran actividad en las acciones de supresión.

Esta metodología permite realizar una cuantificación más cercana a la realidad que, junto a la realización de simulaciones de incendios forestales, da información adecuada para la toma de decisiones en la planificación forestal. Así como para localizar zonas que, dadas unas determinadas características que el fuego puede alcanzar, no serían viables medidas de extinción, así como zonas en la que sería efectivo y viable realizar tareas de mantenimiento y extinción.

- Apoyando a los índices de riesgo, peligro y dificultad de extinción se obtuvieron más variables como el índice de peligro meteorológico, estimación del valor económico real de los recursos en la superficie así como de pérdidas que pudieran darse frente un incendio forestal, costes de la posible extinción, además de información que ya se poseía de calcular los subíndices que componen el índice de dificultad de extinción, como son la longitud de los fondos de valle, las divisorias de agua y el perímetro de las zonas no

combustibles. En el presente trabajo no se definen zonas de redistribución de los medios pues no era uno de los objetivos, pero el personal que lleva gestionando el monte durante múltiples años conocen con mayor profundidad la casuística de la zona y otros aspectos ya que este estudio únicamente se ha centrado en los incendios forestales por lo que se pone a su disposición. La obtención de tantas variables ha posibilitado un estudio estadístico en profundidad en el que la elección de las variables ha sido manual y se ha obtenido resultados de como de correlacionadas estaban las variables entre sí, además de la importancia que poseen para cada modelo examinado. Esto ha permitido generar una gran cantidad de modelos, pudiéndose comprar entre ellos y así poder discernir cual es el más adecuado.

- Se ha analizado en profundidad la forma de zonificar la superficie en estudio ya que esta permite localizar con mayor facilidad localizaciones claves dentro del paisaje en las que sería adecuado realizar actuaciones previas antes de la ocurrencia de un incendio. El modelo obtenido permite obtener el número de POD mínimo que un cuadrado de la cuadrícula debería de contener, esto disminuye la incertidumbre inherente al proceso de su delimitación. También se ha obtenido un modelo para conocer la superficie mínima que debe de tener un POD dentro de la cuadrícula lo que sin duda ayuda en el proceso decisional relacionado con la delimitación de contornos, pero no se ha obtenido un ajuste demasiado alto. Como se ha comentado, esto puede ser consecuencia de que un POD se encuentre formando parte de dos cuadrados por lo que la superficie mínima no sería realmente la total del POD.

Con los objetivos alcanzados se consigue tener con antelación una buena base de información que frente la llegada un gran incendio forestal y puede que sea necesaria para generar planes de extinción en el caso de que ocurra un incendio forestal.

Bibliografía

7. Bibliografía

ARTÍCULOS

- Abrha, H. y Adhana, K. (2019). Descriptive national forest reserve susceptibility to fire under climate change. *Forest Science and Technology*. 15. 1-7. 10.1080/21580103.2019.1628109.
- Albini, F.A. (1976) Estimating wildfire behavior and effects. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-30, 92 p. Intermt. For. and Range Exp. Stn., Ogden, Utah.
- Andersen, H.E., McGaughey, R. J., y Reutebuch, S. E. (2005). Estimating forest canopy fuel parameters using LIDAR data. *Remote sensing of Environment*, 94(4), 441-449.
- Anderson, H.E. (1982). Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. USDA. Forest Service.
- Araque, E. (2013). La intervención de Explotaciones Forestales de RENFE en las sierras de Segura y Cazorla. Eduardo Araque Jiménez y Egidio Moya García: Aprovechamientos madereros en los montes jiennenses (siglos XVIII-XX), Jaén, Universidad de Jaén, 271-313.
- Barbero, M., Bonin, G., Loisel, R., y Quézel, P. (1990). Changes and disturbances of forest ecosystems caused by human activities in the western part of the Mediterranean basin. *Vegetatio*, 87(2), 151-173.
- Baskerville, G.L. (1972) Use of Logarithmic Regression in the Estimation of Plant Biomass. *Canadian Journal of Forest Research*. 2(1): 49-53. <https://doi.org/10.1139/x72-009>.
- Becker, R.M. y Keefe, R.F. (2020). Prediction of Fuel Loading Following Mastication Treatments in Forest Stands in North Idaho, USA. *Sustainability*, 12(17), 7025.
- Brown, J.K., Oberheu, R.D. y Johnson, CM. (1982). Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior west. Rep. No. GTR INT-129. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT.

- Burgan, R. y Rothermel, R.C. (1984). BEHAVE: Fire Behaviour Prediction and Fuel Modeling System—FUEL Subsystem. Rep. No. GTR INT-167. Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT.
- Byram, G. M. (1959). Combustion of forest fuels. In Forest fire: control and use. Edited by K. P. Davis. McGraw-Hill, New York. pp. 61-89.
- Calkin D.E, Cohen J.D, Finney M.A y Thompson M.P. (2014) How risk management can prevent future wildfire disasters in the wildland-urban interface. Proc Natl Acad Sci U S A;111(2):746-751. doi:10.1073/pnas.1315088111
- Castellnou, M., Larragaña, A., Miraller, M. y Kraus, D. (2011). La prevención de los Grandes Incendio Forestales adaptada al Incendio Tipo. Proyecto Fire Paradox (Generalitat de Catalunya-Bombers-EFI).
- Chase, A. y Chase, D. (2020). Ethics, New Colonialism, and Lidar Data: A Decade of Lidar in Maya Archaeology. Journal of Computer Applications in Archaeology, 3, 51-62. doi:10.5334/jcaa.43.
- Chen, Y., Schlipf, D. y Cheng, P.W. (2020). Parameterization of Wind Evolution using Lidar. doi: 10.5194/wes-2020-50.
- Chuvieco, E. (Ed.). (2012). Remote sensing of large wildfires: in the European Mediterranean Basin. Springer Science & Business Media.
- Cruz, M.G., Alexander, M.E. y Wakimoto, R.H. (2003). Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types of western north America. International Journal of Wildland Fire, 12(1), 39-50. doi:10.1071/WF02024.
- Curt, T. y Frejaville. T. (2017). Wildfire policy in Mediterranean France: How far is it efficient and sustainable? Risk Anal. doi: 10.1111/risa.12855.
- Deeming, J. E., y James, K. B. (1975). Fuel models in the National Fire-Danger Rating System. J. For. doi: 73:347-350.

- Dubayah, R. y Drake, J. (1999). Lidar Remote Sensing for Forestry. *Journal of Forestry*. 98.
- Dunn, C., OConnor, C, Abrams, J., Thompson, M., Calkin, D., Johnston, J., Stratton, R. y Gilbertson-Day, J. (2019). Wildfire risk science facilitates adaptation of fire-prone social-ecological systems to the new fire reality. *Environmental Research Letters*. 15. 10.1088/1748-9326/ab6498.
- Elvira, M. y Hernando, C. (1989). Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Monografía INIA nº: 68. ISBN: 84-7498-341-X. http://libros.inia.es/libros/product_info.php?products_id=91
- Fernández, D., Martín, M. y Vilar, O. (2015). Estimación del contenido de humedad de la vegetación herbácea en una zona de dehesa a partir de imágenes hiperespectrales adquiridas por el sensor aeroportado CASI, GeoFocus. 16.
- Finney, M.A. (1993). Modelling the spread and behavior of prescribed natural fires. *Proceedings of the 12 Conference on Fire and Forest Meteorology*. Society of American Foresters. Jekyll Island. Georgia, october 26-28, 1993.pp 138-143.
- Finney, M.A. (2004). FARSITE: Fire Area Simulator. Model Development and Evaluation. USDA Forest Service. Rocky Mountain Research Station. Research Paper. RMRS-RP-4.
- Hand, M.S., Wibbenmeyer, M.J., Calkin, D.E. y Thompson, M.P. (2015). Risk Preferences, Probability Weighting, and Strategy Tradeoffs in Wildfire Management. *Risk Analysis*, 35: 1876-1891. <https://doi.org/10.1111/risa.12457>
- Heipke, C., Jacobsen, K., Wegmann, H., Andersen, Ø., y Nilsen, B. (2002). Test goals and test set up for the OEEPE test “Integrated Sensor Orientation”, in. In Heipke C., Jacobsen K., Wegmann H.(Eds.), *Integrated Sensor Orientation*, OEEPE Official Publication.
- Heipke, C., Jacobsen, K. y Wegmann, H. (2002a). Analysis of the results of the OEEPE test ‘Integrated sensor orientation’. Technical Report 43, OEEPE Official Publications.

- Hurteau, M.D., Liang, S., Westerling, A.L. y Wiedinmyer, C. (2019). Vegetation-fire feedback reduces projected area burned under climate change. *Sci Rep* 9, 2838 <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39284-1>
- Jaffe, D., Hafner, W., Chand, D., Westerling, A. y Spracklen, D. (2008). Interannual variations in PM_{2.5} due to wildfires in the Western United States. *Environmental science & technology*, 42(8), 2812-2818.
- Jakubowski, M. Guo, O. Collins, B., Stephens, S. y Kelly, M. (2013). Predicting Surface Fuel Models and Fuel Metrics Using Lidar and CIR Imagery in a Dense, Mountainous Forest. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 79. 37-49. 10.14358/PERS.79.1.37.
- Jiménez, E. A. (2007). Conducciones fluviales de madera desde las Sierras de Segura y Cazorla (1894-1949). *Cuadernos geográficos de la Universidad de Granada*, 40(1), 81-105.
- Jiménez, E., Vega, J. A., Fernández-Alonso, J. M., Vega-Nieva, D., Álvarez-González, J. G., y Ruiz-González, A. D. (2013). Allometric equations for estimating canopy fuel load and distribution of pole-size maritime pine trees in five Iberian provenances. *Canadian Journal of Forest Research*, 43(2), 149-158.
- Kaiguang Z., Suarez, J.C., Garcia, M., Hu, T., Wang, C. y Londo, A. (2018). Utility of multitemporal lidar for forest and carbon monitoring: Tree growth, biomass dynamics, and carbon flux, *Remote Sensing of Environment*, Volume 204, Pages 883-897, ISSN 0034-4257, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.09.007>.
- Kraus, K., & EM, M. (1972). Linear least-squares interpolation.
- Kraus, K., y Pfeifer, N. (1998). Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and remote Sensing*, 53(4), 193-203.
- Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B. y Flood, M. (2003). LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress in Physical Geography* 27(1):88-106.

- Lohani, B. y Ghosh, S. (2017). Airborne LiDAR Technology: A Review of Data Collection and Processing Systems. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences. 87. doi:10.1007/s40010-017-0435-9.
- Madrigal, J., Romero-Vivó, M. y Rodríguez, F. (2019). Definición y recomendaciones técnicas en el diseño de puntos estratégicos de gestión. “Decálogo de Valencia” para la defensa integrada frente a los incendios en la gestión del mosaico agroforestal. Generalitat Valenciana, Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Marino, E. Ranz, P., Tomé, J.L. y Noriega, M.A., Esteban, J. y Madrigal, J. (2016). Generation of high-resolution fuel model maps from discrete airborne laser scanner and Landsat-8 OLI: A low-cost and highly updated methodology for large areas. Remote Sensing of Environment, Volume 187, Pages 267-280.
- Masarie, A.T., Wei, Y., Belval, E.J., Thompson, M.P., Oprea, J. Tabatabaei, M. y Calkin, D.E., (2019). Valuating fire suppression risk data, Applied Mathematical Modelling, Volume 69, Pages 93-112, ISSN 0307-904X, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.11.049>.
- Micheletto, M., Zubiaga, L., Santos, R., Galantini, J., Cantamutto, M. y Orozco, J. (2020). Development and Validation of a LiDAR Scanner for 3D Evaluation of Soil Vegetal Coverage. Electronics, 9, 109. doi: 10.3390/electronics9010109.
- Molina, J.R., Rodríguez, F., Herrera M.A. y Zamora R. (2009). A simulation tool for socio-economic planning on forest fire suppression management. Forest Fires: Detection, Suppression and Prevention. Nova Science Publishers. ISBN: 978-1-60741-716-3. USA.
- Molina, J.R., Machuca, M., Zamora, R., Rodríguez, F. y González-Cabán, A. (2011). Economic losses to Iberian swine production from forest fires. Forest Policy and Economics. 13. 614-621. 10.1016/j.forpol.2011.07.011.
- Molina, J.R., Rodríguez, F. y Herrera M.A. (2013). Seveif model: a tool for socioeconomic impact assesment of forest fires. Proceedings of the VI International Conference on Forest Fire Research. ISBN 978-989-20-2157-7.

- Molina, J.R., Rodríguez, F., Mérida, E. y Machuca, M. (2014). Modelling available crown fuel for *Pinus pinaster* Ait. stands in the "Cazorla, Segura and Las Villas Natural Park" (Spain). *Journal of environmental management*. 144C. 26-33. 10.1016/j.jenvman.2014.05.003.
- Molina, J.R., González-Cabán, A. y Rodríguez, F. (2019). Potential Effects of Climate Change on Fire Behavior, Economic Susceptibility and Suppression Costs in Mediterranean Ecosystems: Córdoba Province, Spain. *Forests*. 10. 679. 10.3390/f10080679.
- Moran, C., Kane, V. y Seielstad, C. (2020). Mapping Forest Canopy Fuels in the Western United States with LiDAR–Landsat Covariance. *Remote Sensing*, 12, 1000. doi:10.3390/rs12061000.
- Moritz, M.A., E. Batllori, R.A. Bradstock, Gill, M. Handmer, J., Hessburg, P.F., Leonard, J. McCaffrey, S., Odion, D.C., Schoennagel, T. y Syphard, A.D. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature*. 515(7525):58–66. doi:10.1038/ nature13946.
- Mutlu, M., Popescu, S.C., Stripling, C., y Spencer, T. (2008). Mapping surface fuel models using lidar and multispectral data fusion for fire behavior. *Remote Sensing of Environment*, Volume 112, Issue 1, Pages 274-285.
- North, M., Brough, A., Lon, J., Collin, B., Bowden, P., Yasuda, D., Miller, J. y Sugihara, N. (2015). Constraints on mechanized treatment significantly limit mechanical fuels reduction extent in the Sierra Nevada. *Journal of Forestry* 113: 40 – 48.
- Olabarria, J., Rodríguez-Puerta, F., Fernández-Landa, A. y Mola-Yudego, B. (2013). A la búsqueda de un método integrado para la estimación del riesgo de incendio a través de LiDAR Aéreo.
- O'Connor C.D., Thompson M.P. y Rodríguez, F. (2016). Getting ahead of the wildfire problem: quantifying and mapping management challenges and opportunities. *Geosciences*, 6(3):35. doi: 10.3390/geosciences6030035.
- O'Connor, C.D., Calkin, D.E. y Thompson, M.P. (2017). An empirical machine learning method for predicting potential fire control locations for pre-fire planning and operational fire management. *Int J Wildland Fire*, 26(7):587–97 Predictive analytics tool for mapping

potential fire control locations, now widely implemented on National Forest System lands in the western USA.

- Otero, I., y Nielsen, J.Ø. (2017). Coexisting with wildfire? Achievements and challenges for a radical social-ecological transformation in Catalonia (Spain). *Geoforum*. 85:234–246. doi:10.1016/j.geoforum.2017.07.020.
- Piñol, J., Terradas J. y Lloret, F. (1998). Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change* ,38, 345–357.
- Reyes, A., Wazny, T., Vázquez-Piqué, J., García-González, I. y Domínguez-Delmás, M. (2018). Bosques milenarios y patrimonio cultural en Andalucía: la dendrocronología como herramienta para estudiar las interacciones hombre-bosque en el Mediterráneo Occidental.
- Rodríguez, F. (2002). Visual forest fire weather index (VFFWI) A mathematical model for prediction of forest fire weather danger in Mediterranean ecosystems. *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety Conference*. ISBN 90 7701772. University of Coimbra.
- Rodríguez, F. y Aguado I. (2004). Nuevas tecnologías para la estimación del riesgo de incendios forestales. Capítulo: El factor meteorológico en los incendios forestales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Instituto de Economía y Geografía 84-00-0827.
- Rodríguez, F. y Molina, J.R. (2010). Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos. Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. ISBN978 -84-693-2159-1. www.franciscorodriguezysilva.com/descargas/ebook
- Rodríguez, F., Molina, J.R. y González-Cabán, A. (2014). A methodology for determining operational priorities for prevention and suppression of wildland fires. *International Journal of Wildland Fire* 23, 544-554.
- Rodríguez, F., Molina J.R. y Rodríguez J., (2014a). The efficiency analysis of the fire control operations using the VISUAL-SEVEIF tool. *Advances in Forest Fire Research*. http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_210

- Rodríguez, F. y González-Cabán, A. (2016). Contribution of suppression difficulty and lessons learned in forecasting fire suppression operations productivity: A methodological approach, *Journal of Forest Economics*, Volume 25, Pages 149-159, ISSN 1104-6899, <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2016.10.002>.
- Rodríguez, F., Molina J.R. y Rodríguez J., (2017). El diagnóstico del peligro potencial y la evaluación económica del impacto de los incendios forestales, una integración a través del programa Visual-Seveif. VII Congreso Forestal Español. Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Rodríguez, F., Guijarro, M., Madrigal, J., Jiménez, E., Martínez, J., Hernando, C., Vélez, R. y Vega, J. (2017a). Assessment of crown fire initiation and spread models in Mediterranean conifer forests by using data from field and laboratory experiments. *Forest Systems*. 26. e02S. 10.5424/fs/2017262-10652.
- Rodríguez, F., Thomson, M., O'Connor C., Molina J.R. y Calkin D. (2018). Modeling Suppression Difficulty: Current and Future Applications. Fire Continuum Conference. Missoula (Montana). Proceeding. GTR RMRS USDA Forest Service.
- Rodríguez, F., O'Connor, C. D., Thompson, M. P., Martínez, J. R. M. y Calkin, D. (2020). Modelling suppression difficulty: Current and future applications. *International journal of wildland fire*, 29(8), 739-751.
- Rothermel, R.C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildlands fuels. USDA Forest Service, Research Paper INT-115, Ogden, UT, USA. 40p.
- Rothermel, R.C. (1983). How to predict the spread and intensity of forest and range fires. USDA Forest Service, General Technical Report INT-143, Ogden, UT, USA.
- Rozycki, M. (2018). Paradigms of Risk, Hazards and Danger. 10.5772/intechopen.80822.
- Ruiz, A, Viador, T y Díaz, B. (2014). Estimación de la humedad del combustible como paso previo a la determinación del riesgo de incendios y a la explicación del comportamiento del fuego. Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela.

- Saarela, S., Wästlund, A., Holmström, E., Appiah Mensah, A., Holm, S., Nilsson, M., Fridman, J. y Ståhl, G. (2020). Mapping aboveground biomass and its prediction uncertainty using LiDAR and field data, accounting for tree-level allometric and LiDAR model errors.
- Salis, M., Arca, B., Ager, A., Fois, C., Bacciu, V., Duce, P., y Spano, D. (2012, April). Extreme wildfire spread and behaviour: case studies from North Sardinia, Italy. In EGU General Assembly Conference Abstracts (p. 10052).
- Schleuning, D. y Droz, P. (2020). Lidar sensors for autonomous driving. 34. 10.1117/12.2559807.), parametrización de vientos (Chen, Yiyin & Schlipf, David & Cheng, Po Wen. Parameterization of Wind Evolution using Lidar. doi:10.5194/wes-2020-50.
- Scott, J.H. y Burgan, R., (2005) Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. Rep. No. RMRS GTR-153. Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO.
- Scott, J.H., Thompson, M.P. y Calkin, D.E. (2013) A Wildfire Risk Assessment Framework for Land and Resource Management. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-315. Fort Collins, CO: US Forest Service Rocky Mountain Research Station.
- Sprugel, D.G. (1983), Correcting for bias in log-transformed allometric equations, *Ecology*, 64 (1983), pp. 209-210
- Stellmes, M., Röder, A., Udelhoven, T. y Hill, J. (2013). Mapping syndromes of land change in Spain with remote sensing time series, demographic and climatic data. *Land Use Policy*. 30. 685-702. 10.1016/j.landusepol.2012.05.007.
- Thirgood, J.V. (1981) *Man and the Mediterranean Forest. A History of Resource Depletion*. Academic Press. London.
- Thomas, P.H. (1963) The Size of Flames From Natural Fires, 9th International Symposium on Combustion, New York, Academic Press, 844-859.
- Thompson, M.P., Scott, J., Helmbrecht, D. y Calkin, D.E. (2013), Integrated wildfire risk assessment: Framework development and application on the Lewis and Clark National

Forest in Montana, USA. Integr Environ Assess Manag, 9: 329-342.
<https://doi.org/10.1002/ieam.1365>

- Thompson, M.P., Bowden, P., Brough, A., Scott, J.H., Gilbertson-Day, J., Taylor, A., Anderson, J. y Haas, J.R. (2016) Application of Wildfire Risk Assessment Results to Wildfire Response Planning in the Southern Sierra Nevada, California, USA. Forest, 7(3), 64

- Thompson, M.P., D.G. MacGregor, y D.E. Calkin. (2016a) Risk Management: Core Principles and Practices, and their Relevance to Wildland Fire. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-350. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, CO. 29 p.

- Thompson, M.P., Wei, Y., Calkin, D.E., O'Connor C.D., Dunn, C.J., Anderson, N.M. y Hogland, J.S., (2019) Risk Management and Analytics in Wildfire Response. Current Forestry Reports, 5, 226–239.

-Tusa, E., Monnet, J.M., Barré, J.B., Dalla Mulla, M. y Chanussot, J. (2020) Fusion of Lidar and hyperspectral data for semantic segmentation of forest tree species. The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volumen XLIII-B3-2020.

- Vince, S.W., Duryea, M.L., Macie, E.A. y Hermansen, A. (eds.) (2005): Forests at the wildland-urban interface: conservation and management. Boca Raton, CRC Press, 293 págs.

- Wang, X., Pan, H.Z., Guo, K., Yang, X. y Luo, S. (2020). The evolution of LiDAR and its application in high precision measurement. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

- Williams, C.A. Jr., Smith, M.L. y Young, P.C. (2002) Risk Management and Insurance. New York: McGraw-Hill; 1964. Polish translation: “Zarządzanie ryzykiem a ubezpieczenia”, Warszawa: PWN, pp. 28-29.

- Yadav, M. Singh, A.K. y Lohani, B. (2017) Extraction of road surface from mobile LiDAR data of complex road environment, International Journal of Remote Sensing, 38:16, 4655-4682, doi: 10.1080/01431161.2017.1320451

- Zimble, D.A., Evans, D.L., Carlson, G.C., Parker, R.C., Grado, S.C. y Gerard, P.D. (2003) Characterizing vertical forest structure using small-footprint airborne LiDAR. *Remote Sensing of Environment* 87:171-182.
- Zhao, K., Suarez, J.C., Garcia, M., Hu, T., Wang, C. y Londo, A., (2018) Utility of multitemporal lidar for forest and carbon monitoring: Tree growth, biomass dynamics, and carbon flux. *Remote Sensing of Environment*, Volume 204, Pages 883-897.

LEGISLACIÓN

- Acuerdo de 27 de septiembre de 2011, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba la formulación del II Plan de Desarrollo Sostenible del Parque Natural Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas y su área de influencia socioeconómica (BOJA 199,2011).
- Decreto 247/2001, de 13 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Prevención y Lucha contra los Incendios Forestales. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía núm. 144.
- Decreto 371/2010, de 14 de septiembre, por el que se aprueba el Plan de Emergencia por Incendios Forestales de Andalucía y se modifica el Reglamento de Prevención y Lucha contra los Incendios Forestales aprobado por el Decreto 247/2001, de 13 de noviembre, Boletín Oficial de la Junta de Andalucía núm. 192.
- Decreto 260/2014, de 2 de diciembre, por el que se regula la Prevención de los Incendios Forestales en la Comunidad Autónoma de Extremadura. Boletín Oficial de Extremadura, núm. 236.
- Decreto 191/2017, de 28 de noviembre, por el que se declara la Zona Especial de Conservación Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas (ES0000035) y se aprueban el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales y el Plan Rector de Uso y Gestión del Parque Natural Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía núm. 246.
- International Organization for Standardization (2018). ISO 31000:2018 Risk Management. Geneva: ISO.
- Ley 3/2008, de 12 de junio, de Montes y Gestión Forestal Sostenible de Castilla-La Mancha, Boletín Oficial del Estado núm. 193.
- Ley 5/2004, de 24 de junio, de Prevención y Lucha contra los Incendios Forestales en Extremadura, Boletín Oficial del Estado núm. 172.
- Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil, Boletín Oficial del Estado núm. 164.

- Ley 21/2015, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes. Boletín Oficial del Estado núm. 173.
- Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes. Boletín Oficial del Estado núm. 280.
- Orden de 24 de mayo de 2010, de la Consejería de Agricultura y Agua, sobre medidas de prevención de incendios forestales en la Región de Murcia para el año 2010, Boletín Oficial de la Región de Murcia núm. 121.
- Real Decreto 2102/1984, de 10 de octubre, sobre traspaso de funciones y servicios del Estado a la Región de Murcia en materia de conservación de la naturaleza. Boletín Oficial del Estado núm. 281.

LIBROS

- Comisión Europea. (2015). Natura 2000 y los bosques. Parte I – II.
- Junta de Andalucía. (2004). Árboles y arboledas singulares de Andalucía, Jaén.
- Junta de Andalucía. (2004a). Manual de ordenación de montes.
- Junta de Andalucía. (2007). Primer inventario de sumideros de CO₂.
- Laboratorio de Defensa contra los Incendio Forestales. (2018), III Taller de Lecciones Aprendidas de los Incendios Forestales. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba.
- Laboratorio de Defensa contra los Incendio Forestales. (2020), Landscape and Wildfires Seminary. Diagnosis and suppression. Methodological advances. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba.
- Porrero, M. y Chico, F. (2000) Rendimiento del personal de extinción. La Defensa contra Incendios Forestales, Fundamentos y Experiencias. Coordinador Ricardo Vélez. Editorial McGraw-Hill. Madrid.
- Rodríguez, F., y Martínez, J.R. (2010). Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos.
- Rodríguez, F. (2012) Ordenación y defensa del paisaje frente a los incendios. Texto asignatura del máster en Incendios Forestales, Ciencia y Gestión Integral. MasterFUEGO. Universidad de Córdoba.
- Viegas, D.X. (2007) Comportamiento eruptivo de un incendio forestal. Universidad Politécnica de Valencia.

WEBGRAFÍA

- Callejero Digital de Andalucía Unificado. (Marzo, 2017)
- FAO, 2003, Los bosques y el sector forestal, Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/country/57478/es/usa/> (Febrero, 2021)
- FlamMap 5. USDA Forest Service. Disponible online (2020). <https://www.firelab.org/document/flammapp-software>.
- Ortofotos de máxima actualidad del proyecto PNOA. (Marzo, 2017)
- REDIAM. WMS Áreas recorridas por el fuego obtenidas mediante Teledetección (1975-2019). (Marzo, 2017; Noviembre, 2020)
- REDIAM. WMS Catálogo de Montes Públicos de Andalucía. (Marzo, 2017)
- REDIAM. WMS Hábitats de Interés Comunitario. (Septiembre, 2019)
- REDIAM. WMS Inventario de Bienes de la Consejería de Medio Ambiente a escala de detalle, 2008. (Marzo, 2017)
- REDIAM. WMS Mapa de Equipamientos y Senderos de Uso Público de Andalucía. (Marzo, 2017)
- REDIAM. WMS Mapa de Zonificación de los PORN vigentes. (Marzo, 2017)
- REDIAM. WMS Red Natura 2000 (LIC, ZEC y ZEPA) en Andalucía. (Marzo, 2017)
- VisualFUEGO. Rodríguez y Silva F., Rodríguez Leal J. 2020. Disponible online: www.franciscorodriguezysilva.com/descargas/software
- Windninja. Jason, F., B. Butler, and N. Wagenbrenner. Disponible online en <https://www.firelab.org/project/windninja> (2019)

Clasificación de las cargas de combustibles forestales por el método de los rangos.

- Rango 1: restos muertos (de 1 a 10 horas de tiempo de retardo) cubriendo el suelo desnudo; un ejemplo típico de este rango incluiría las acículas y otros restos livianos procedentes del dosel arbóreo. Intervalo de carga de combustibles (1-5) t/ha.
- Rango 2: presencia de los restos comentados con anterioridad, pero en este caso existen además un estrato herbáceo predominante; este rango sería el que más abundaría en modelos de combustible de pastos. Intervalo de carga de combustibles (6-10) t/ha.
- Rango 3: incluiría los rangos anteriores, pero en este caso ya aparecen especies leñosas, aunque de bajo porte (altura inferior a 50 cm); sería el rango más predominante en un modelo de combustible como es el modelo 5. Intervalo de carga de combustibles (11-15) t/ha.
- Rango 4: este rango incluiría al rango 3 pero en este caso ya aparecerían especies de matorral de mayor porte, influyendo en este caso de forma notable la composición específica del matorral. Intervalo de carga de combustibles (16-20) t/ha.
- Rango 5: este rango incluye al anterior en el que además existen restos (mayores de 100 h de tiempo de retardo) procedentes de trabajos selvícolas o de plagas o incendios anteriores. Intervalo de carga de combustibles (>20) t/ha.

Referencia bibliográfica: Rodríguez, F., Molina J.R. 2010. Manual técnico para la modelización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas forestales mediterráneos. Laboratorio de Defensa contra Incendios Forestales. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. ISBN978 -84-693-2159-1. www.franciscorodriguezysilva.com/descargas/ebook

Punto	X	Y	Diámetro	Altura	Altura de copa	Diámetro copa	Edad	FCC
1	524845,3	4225474,9	54,07	21,73	8,57	9,35	100	40
2	524622,7	4225423,85	21,37	8,83	4,63	4,11	48,3	70
3	524600,24	4225366,67	37,77	14,3	7,9	7,58	72,3	40
4	524557,35	4225354,41	27,03	12,3	8,35	4,23	33,5	62,5
5	524485,88	4225307,44	23,5	10,75	7,9	4,1	32	55
6	524585,94	4225280,89	29,75	10,25	8,15	5,525	33,5	70
7	524992,34	4224647,81	25,55	9,85	7,65	6,025	32,5	72,5
8	525635,64	4224515,07	39,83	12,2	6,17	8,75	78,67	76,67
9	525594,79	4224472,18	42,4	13,8	7,27	7,5	80	66,67
10	525982,81	4224762,17	36,5	11,8	7,95	6,3125	53	75
11	526023,65	4224784,64	38,65	11,05	8,7	6,275	38,5	85
12	526072,67	4224854,07	36,27	11	9,45	5,75	39,5	87,5

Parcela	1			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	520925.62	Y:	4217067.16
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM4			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	12	Nº de pies	18
Diámetro normal (cm)	43,92676429	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	21,8	Altura (m)	3,8
Altura rama (m)	11	Altura rama (m)	1,4
Altura copa	10,8	Altura copa	2,4
Matorral	Romero, Coscoja		
FCC (1 -5)	2		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	13	Nº de pies	9
Diámetro normal (cm)	43,29014452	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	13,7	Altura (m)	7,3
Altura rama (m)	6,7	Altura rama (m)	2
Altura copa	7	Altura copa	5,3
Matorral	Romero, Labiarnago		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	7	Nº de pies	7
Diámetro normal (cm)	35,01408748	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	15	Altura (m)	5,3
Altura rama (m)	8,8	Altura rama (m)	1,6
Altura copa	6,2	Altura copa	3,7
Matorral	Romero, Labiarnago		
FCC (1 -5)	4		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	7	Nº de pies	4
Diámetro normal (cm)	35,96901714	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	18	Altura (m)	6
Altura rama (m)	12,4	Altura rama (m)	1,8
Altura copa	5,6	Altura copa	4,2
Matorral	Romero, Labiarnago		
FCC (1 -5)	3		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	39,5500034	1256,637061	310,352139	0,39550003
Altura (m)	17,125	0,125663706		0,12278992
Altura rama (m)	9,725			38,1081134
FCC (1 -5)	3,25			
Altura de copa (m)	7,4			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	9,54929659	1256,637061	302,394392	0,09549297
Altura (m)	5,6	0,125663706		0,00715834
Altura rama (m)	1,7			2,16464236
Altura de copa (m)	3,9			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	24,54965
Altura (m)	11,3625
Altura rama (m)	5,7125

Densidad	Área Basal
612,746531	40,2727558

FOTOGRAFÍAS



Parcela	2			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	520671.44	Y:	4216485.97
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	M4			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Enebro
Nº de pies	9	Nº de pies	2
Diámetro normal (cm)	39,152116	Diámetro normal (cm)	11,140846
Altura (m)	17,8	Altura (m)	6
Altura rama (m)	8,6	Altura rama (m)	1,4
Altura copa	9,2	Altura copa	4,6
Matorral	Romero, Labiernago		
FCC (1 -5)	4		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	Enebro
Nº de pies	8	Nº de pies	2
Diámetro normal (cm)	41,3802852	Diámetro normal (cm)	11,140846
Altura (m)	17,8	Altura (m)	6
Altura rama (m)	6,3	Altura rama (m)	1,7
Altura copa	11,5	Altura copa	4,3
Matorral	Romero, Labiernago		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Enebro
Nº de pies	10	Nº de pies	2
Diámetro normal (cm)	26,73803044	Diámetro normal (cm)	11,140846
Altura (m)	14,6	Altura (m)	4
Altura rama (m)	3,9	Altura rama (m)	1,4
Altura copa	10,7	Altura copa	2,6
Matorral	Labiernago		
FCC (1 -5)	4		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Enebro
Nº de pies	12	Nº de pies	0
Diámetro normal (cm)	34,69577759	Diámetro normal (cm)	0
Altura (m)	13	Altura (m)	0
Altura rama (m)	4,6	Altura rama (m)	
Altura copa	8,4	Altura copa	0
Matorral			
FCC (1 -5)	1		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	35,4915523	1256,637061	310,352139	0,35491552
Altura (m)	15,8	0,125663706		0,09888255
Altura rama (m)	5,85			30,6884101
FCC (1 -5)	3,25			
Altura de copa (m)	9,95			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	8,35563451	1256,637061	47,7464829	0,08355635
Altura (m)	4	0,125663706		0,00548061
Altura rama (m)	1,5			0,26167963
Altura de copa (m)	2,875			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	21,9235934
Altura (m)	9,9
Altura rama (m)	3,675

Densidad	Área Basal
358,098622	30,9500897

FOTOGRAFÍAS



Parcela	3			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	520947.46	Y:	4217008.80
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM5			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	20	Nº de pies	3
Diámetro normal (cm)	41,3802852	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	15	Altura (m)	2
Altura rama (m)	8,2	Altura rama (m)	1,5
Altura copa	6,8	Altura copa	0,5
Matorral	Enebro (arbóreo), Romero, Labiarnago		
FCC (1 -5)	5		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	14	Nº de pies	4
Diámetro normal (cm)	47,74648293	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	12,9	Altura (m)	3
Altura rama (m)	6,7	Altura rama (m)	1,5
Altura copa	6,2	Altura copa	1,5
Matorral	Enebro, Labiarnago		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	19	Nº de pies	7
Diámetro normal (cm)	27,05634033	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	12,1	Altura (m)	2,5
Altura rama (m)	7,5	Altura rama (m)	1,3
Altura copa	4,6	Altura copa	1,2
Matorral	Romero, Labiarnago		
FCC (1 -5)	4,5		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Enebro
Nº de pies	23	Nº de pies	10
Diámetro normal (cm)	27,6929601	Diámetro normal (cm)	7,9577472
Altura (m)	11,3	Altura (m)	2
Altura rama (m)	6,5	Altura rama (m)	1,3
Altura copa	4,8	Altura copa	0,7
Matorral	Labiárnago		
FCC (1 -5)	4,5		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	35,9690171	1256,637061	604,788784	0,35969017
Altura (m)	12,825	0,125663706		0,10156096
Altura rama (m)	7,225			61,4229296
FCC (1 -5)	4,5			
Altura de copa (m)	5,6			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	9,15140923	1256,637061	190,985932	0,09151409
Altura (m)	2,375	0,125663706		0,00657424
Altura rama (m)	1,4			1,25558751
Altura de copa (m)	0,975			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	22,5602132
Altura (m)	7,6
Altura rama (m)	4,3125

Densidad	Área Basal
795,774715	62,6785171

FOTOGRAFÍAS



Parcela	4			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	521434.71	Y:	4216976.51
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR4			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	7	Nº de pies	17
Diámetro normal (cm)	44,56338407	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	11,9	Altura (m)	5,5
Altura rama (m)	5,3	Altura rama (m)	1,8
Altura copa	6,6	Altura copa	3,7
Matorral	Enebro, Coscoja		
FCC (1 -5)	4		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	2	Nº de pies	30
Diámetro normal (cm)	30,23943919	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	12,2	Altura (m)	5,1
Altura rama (m)	5,1	Altura rama (m)	1,6
Altura copa	7,1	Altura copa	3,5
Matorral	Restos		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	4	Nº de pies	33
Diámetro normal (cm)	46,1549335	Diámetro normal (cm)	7,9577472
Altura (m)	15,1	Altura (m)	5
Altura rama (m)	7,4	Altura rama (m)	2
Altura copa	7,7	Altura copa	3
Matorral	Restos		
FCC (1 -5)	4		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	7	Nº de pies	15
Diámetro normal (cm)	29,60281942	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	14,3	Altura (m)	5,3
Altura rama (m)	7,8	Altura rama (m)	1,7
Altura copa	6,5	Altura copa	3,6
Matorral	Restos		
FCC (1 -5)	4		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	37,640144	1256,637061	159,154943	0,37640144
Altura (m)	13,375	0,125663706		0,11121726
Altura rama (m)	6,4			17,7007775
FCC (1 -5)	4			
Altura de copa (m)	6,975			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	9,15140923	1256,637061	755,98598	0,09151409
Altura (m)	5,225	0,125663706		0,00657424
Altura rama (m)	1,775			4,9700339
Altura de copa (m)	3,45			

MASA	MEDIAS	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	23,3957766	915,140923	22,6708113
Altura (m)	9,3		
Altura rama (m)	4,0875		

FOTOGRAFÍAS



Parcela	5			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	521667.87	Y:	4216811.18
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR4			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie		Especie	Q. ilex
Nº de pies	0	Nº de pies	21
Diámetro normal (cm)	0	Diámetro normal (cm)	17,507044
Altura (m)	0	Altura (m)	9
Altura rama (m)	0	Altura rama (m)	2,8
Altura copa	0	Altura copa	6,2
Matorral	Restos, Piedras.		
FCC (1 -5)	2,5		

Sector 2			
Especie		Especie	Q. ilex
Nº de pies	0	Nº de pies	23
Diámetro normal (cm)	0	Diámetro normal (cm)	15,915494
Altura (m)	0	Altura (m)	8,2
Altura rama (m)	0	Altura rama (m)	2
Altura copa	0	Altura copa	6,2
Matorral	Restos, Piedras.		
FCC (1 -5)	2,5		

Sector 3			
Especie		Especie	Q. ilex
Nº de pies	0	Nº de pies	19
Diámetro normal (cm)	0	Diámetro normal (cm)	18,461973
Altura (m)	0	Altura (m)	12,5
Altura rama (m)	0	Altura rama (m)	2,8
Altura copa	0	Altura copa	9,7
Matorral	Restos, Piedras.		
FCC (1 -5)	2,5		

Sector 4			
Especie		Especie	Q. ilex
Nº de pies	0	Nº de pies	16
Diámetro normal (cm)	0	Diámetro normal (cm)	14,960565
Altura (m)	0	Altura (m)	8,5
Altura rama (m)	0	Altura rama (m)	1,8
Altura copa	0	Altura copa	6,7
Matorral	Restos, Piedras.		
FCC (1 -5)	2,5		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	8,59436693	1256,637061	7,95774715	0,08594367
Altura (m)	3,35	0,125663706		0,00579826
Altura rama (m)	1,425			0,04614106
FCC (1 -5)	2,5			
Altura de copa (m)	1,925			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	16,711269	1256,637061	628,662025	0,16711269
Altura (m)	9,55	0,125663706		0,02192242
Altura rama (m)	2,35			13,7817937
Altura de copa (m)	7,2			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	12,652818
Altura (m)	6,45
Altura rama (m)	1,8875

Densidad	Área Basal
636,619772	13,8279348

FOTOGRAFÍAS



Parcela	6			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	521248.88	Y:	4217015.71
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR3			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	7	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	39,78873577	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	19,5	Altura (m)	
Altura rama (m)	5,3	Altura rama (m)	
Altura copa	14,2	Altura copa	
Matorral	Pinocha homogénea de 0,5 cm		
FCC (1 -5)	1		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	11	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	37,56056657	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	24	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,4	Altura rama (m)	
Altura copa	15,6	Altura copa	
Matorral	Pinocha homogénea de 0,5 cm		
FCC (1 -5)	1		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	3	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	44,56338407	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	18,8	Altura (m)	
Altura rama (m)	7,9	Altura rama (m)	
Altura copa	10,9	Altura copa	
Matorral	Pinocha homogénea de 0,5 cm		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	4	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	49,33803236	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	21,5	Altura (m)	
Altura rama (m)	3	Altura rama (m)	
Altura copa	18,5	Altura copa	
Matorral	Pinocha homogénea de 0,5 cm		
FCC (1 -5)	2,5		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	42,8126797	1256,637061	198,943679	0,4281268
Altura (m)	20,95	0,125663706		0,14388466
Altura rama (m)	6,15			28,6249426
FCC (1 -5)	1			
Altura de copa (m)	14,8			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	0	1256,637061	0	0
Altura (m)	0	0,125663706		0
Altura rama (m)	0			0
Altura de copa (m)	0			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	42,8126797
Altura (m)	20,95
Altura rama (m)	6,15

Densidad	Área Basal
198,943679	28,6249426

FOTOGRAFÍAS



Parcela	7			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	517383.17	Y:	4214900.27
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR7			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	Pinus halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	6	Nº de pies	2
Diámetro normal (cm)	30,23943919	Diámetro normal (cm)	8,9126768
Altura (m)	24	Altura (m)	3,1
Altura rama (m)	11	Altura rama (m)	1,6
Altura copa	13	Altura copa	1,5
Matorral	Pinocha homogénea de 0,5 cm		
FCC (1 -5)	1		

Sector 2			
Especie	Pinus halepensis	Especie	
Nº de pies	12	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	28,64788976	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	22,3	Altura (m)	
Altura rama (m)	10,4	Altura rama (m)	
Altura copa	11,9	Altura copa	
Matorral	Pinocha homogénea de 0,5 cm		
FCC (1 -5)	1		

Sector 3			
Especie	Pinus halepensis	Especie	
Nº de pies	10	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	31,83098862	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	23,4	Altura (m)	
Altura rama (m)	12,1	Altura rama (m)	
Altura copa	11,3	Altura copa	
Matorral	Pinocha homogénea de 0,5 cm		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	Pinus halepensis	Especie	
Nº de pies	16	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	35,01408748	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	22,9	Altura (m)	
Altura rama (m)	11,6	Altura rama (m)	
Altura copa	11,3	Altura copa	
Matorral	Pinocha homogénea de 0,5 cm		
FCC (1 -5)	2,5		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	31,4331013	1256,637061	350,140875	0,31433101
Altura (m)	23,15	0,125663706		0,07756113
Altura rama (m)	11,275			27,1573214
FCC (1 -5)	1			
Altura de copa (m)	11,875			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	8,91267681	1256,637061	15,9154943	0,08912677
Altura (m)	3,1	0,125663706		0,00623571
Altura rama (m)	1,6			0,09924442
Altura de copa (m)	1,5			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	20,172889
Altura (m)	13,125
Altura rama (m)	6,4375

Densidad	Área Basal
366,056369	27,2565658

FOTOGRAFÍAS



Parcela	8			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	517427.40	Y:	4214744.56
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR7			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	37,24225668	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	19,7	Altura (m)	
Altura rama (m)	12,3	Altura rama (m)	
Altura copa	7,4	Altura copa	
Matorral	Restos (clareo)		
FCC (1 -5)	1		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	14	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	35,01408748	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	18,2	Altura (m)	
Altura rama (m)	10,4	Altura rama (m)	
Altura copa	7,8	Altura copa	
Matorral	Restos (clareo)		
FCC (1 -5)	1		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	10	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	35,65070725	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	18,7	Altura (m)	
Altura rama (m)	12,8	Altura rama (m)	
Altura copa	5,9	Altura copa	
Matorral	Restos (clareo)		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	14	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	38,19718634	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	17,9	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,9	Altura rama (m)	
Altura copa	8	Altura copa	
Matorral	Restos (clareo)		
FCC (1 -5)	2,5		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	36,5260594	1256,637061	342,183128	0,36526059
Altura (m)	18,625	0,125663706		0,10473101
Altura rama (m)	11,35			35,8371852
FCC (1 -5)	1			
Altura de copa (m)	7,275			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	36,5260594
Altura (m)	18,625
Altura rama (m)	11,35

Densidad	Área Basal
342,183128	35,8371852

FOTOGRAFÍAS



Parcela	9			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	517538.74	Y:	4214661.63
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR7			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	14	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	28,64788976	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	14,5	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,6	Altura rama (m)	
Altura copa	4,9	Altura copa	
Matorral	labiérnago, Enebro, Agracejo (7m)		
FCC (1 -5)	4		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	44,56338407	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	14,9	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,7	Altura rama (m)	
Altura copa	6,2	Altura copa	
Matorral	1 pie muerto, Encinas		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	14	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	28,64788976	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	19,2	Altura (m)	
Altura rama (m)	11,4	Altura rama (m)	
Altura copa	7,8	Altura copa	
Matorral	labiérnago, Enebro		
FCC (1 -5)	4		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	14	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	27,05634033	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	15,6	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,3	Altura rama (m)	
Altura copa	6,3	Altura copa	
Matorral	labiérnago, Enebro		
FCC (1 -5)	4		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	32,228876	1256,637061	374,014116	0,32228876
Altura (m)	16,05	0,125663706		0,08153799
Altura rama (m)	9,75			30,4963574
FCC (1 -5)	4			
Altura de copa (m)	6,3			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	32,228876
Altura (m)	16,05
Altura rama (m)	9,75

Densidad	Área Basal
374,014116	30,4963574

FOTOGRAFÍAS



Parcela	10			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	517647.33	Y:	4214663.58
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR4			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	0	Nº de pies	18
Diámetro normal (cm)	0	Diámetro normal (cm)	14,960565
Altura (m)	0	Altura (m)	8,4
Altura rama (m)	0	Altura rama (m)	4,1
Altura copa	0	Altura copa	4,3
Matorral			
FCC (1 -5)	4		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	6	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	41,3802852	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	27,5	Altura (m)	
Altura rama (m)	17	Altura rama (m)	
Altura copa	10,5	Altura copa	
Matorral	labiérnago		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	3	Nº de pies	7
Diámetro normal (cm)	40,42535555	Diámetro normal (cm)	15,278875
Altura (m)	22,3	Altura (m)	6,7
Altura rama (m)	11,4	Altura rama (m)	3,4
Altura copa	10,9	Altura copa	3,3
Matorral	labiérnagos y Madroños (arbóreos)		
FCC (1 -5)	4		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	4	Nº de pies	3
Diámetro normal (cm)	35,01408748	Diámetro normal (cm)	16,870424
Altura (m)	22,5	Altura (m)	10,2
Altura rama (m)	12	Altura rama (m)	2,8
Altura copa	10,5	Altura copa	7,4
Matorral	Madróno (arbóreo)		
FCC (1 -5)	4		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	38,9399094	1256,637061	103,450713	0,38939909
Altura (m)	24,1	0,125663706		0,11903085
Altura rama (m)	13,4666667			12,3138262
FCC (1 -5)	4			
Altura de copa (m)	10,6333333			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	15,7032877	1256,637061	222,81692	0,15703288
Altura (m)	8,43333333	0,125663706		0,01935757
Altura rama (m)	3,43333333			4,31319408
Altura de copa (m)	5			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	27,3215986
Altura (m)	16,2666667
Altura rama (m)	8,45

Densidad	Área Basal
326,267633	16,6270203

FOTOGRAFÍAS



Parcela	11			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	517939.46	Y:	4214640.02
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM4			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	2	Nº de pies	14
Diámetro normal (cm)	49,33803236	Diámetro normal (cm)	15,278875
Altura (m)	17,2	Altura (m)	6,4
Altura rama (m)	9	Altura rama (m)	2,2
Altura copa	8,2	Altura copa	4,2
Matorral	Madroño, labiérnago, Lentisco		
FCC (1 -5)	4		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	1	Nº de pies	23
Diámetro normal (cm)	46,1549335	Diámetro normal (cm)	14,960565
Altura (m)	13,9	Altura (m)	7,3
Altura rama (m)	6,7	Altura rama (m)	2
Altura copa	7,5	Altura copa	5,3
Matorral	Romero, Lentisco, regenerado encina		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	5	Nº de pies	16
Diámetro normal (cm)	45,20000384	Diámetro normal (cm)	21,326762
Altura (m)	13,5	Altura (m)	6,8
Altura rama (m)	8,8	Altura rama (m)	2,1
Altura copa	7,3	Altura copa	4,7
Matorral	Agracejo		
FCC (1 -5)	4		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	8	Nº de pies	7
Diámetro normal (cm)	33,10422816	Diámetro normal (cm)	11,140846
Altura (m)	15,8	Altura (m)	6,7
Altura rama (m)	12,4	Altura rama (m)	3,2
Altura copa	7,9	Altura copa	3,5
Matorral	labiérnago		
FCC (1 -5)	4		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	43,4492995	1256,637061	127,323954	0,43449299
Altura (m)	15,1	0,125663706		0,14819557
Altura rama (m)	9,225			18,8688457
FCC (1 -5)	4			
Altura de copa (m)	7,725			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	15,6767619	1256,637061	477,464829	0,15676762
Altura (m)	6,8	0,125663706		0,01929223
Altura rama (m)	2,375			9,21136025
Altura de copa (m)	4,425			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	29,5630307
Altura (m)	10,95
Altura rama (m)	5,8

Densidad	Área Basal
604,788784	28,0802059

FOTOGRAFÍAS



Parcela	12			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	518106.39	Y:	4214517.47
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM5			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	2	Nº de pies	11
Diámetro normal (cm)	37,24225668	Diámetro normal (cm)	12,095776
Altura (m)	13,1	Altura (m)	4,5
Altura rama (m)	4,8	Altura rama (m)	1,9
Altura copa	8,3	Altura copa	2,6
Matorral	Aulaga, Romero, regenerado de pino y encina		
FCC (1 -5)	5		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	5	Nº de pies	12
Diámetro normal (cm)	13,36901522	Diámetro normal (cm)	14,005635
Altura (m)	7,3	Altura (m)	7,6
Altura rama (m)	2,4	Altura rama (m)	2,3
Altura copa	4,9	Altura copa	5,3
Matorral	Aulaga, Lentisco, Madroño, Acebuche, regenerado de encina		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies		Nº de pies	19
Diámetro normal (cm)		Diámetro normal (cm)	19,735213
Altura (m)		Altura (m)	7
Altura rama (m)		Altura rama (m)	2,8
Altura copa		Altura copa	4,2
Matorral	Aulaga, Lentisco, Enebro, Romero, regenerado de pino y encina		
FCC (1 -5)	4		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	7	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	36,60563691	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	9,8	Altura (m)	
Altura rama (m)	2,6	Altura rama (m)	
Altura copa	7,2	Altura copa	
Matorral	Aulaga, Romero, regenerado de pino		
FCC (1 -5)	2		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	29,0723029	1256,637061	111,40846	0,29072303
Altura (m)	10,0666667	0,125663706		0,06634811
Altura rama (m)	3,26666667			7,39174029
FCC (1 -5)	3,75			
Altura de copa (m)	6,8			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	15,2788745	1256,637061	334,22538	0,15278875
Altura (m)	6,36666667	0,125663706		0,01832535
Altura rama (m)	2,33333333			6,1247986
Altura de copa (m)	4,03333333			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	22,1755887
Altura (m)	8,21666667
Altura rama (m)	2,8

Densidad	Área Basal
445,633841	13,5165389

FOTOGRAFÍAS



Parcela	13			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	518148.48	Y:	4214627.04
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR7			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	15	Nº de pies	2
Diámetro normal (cm)	31,83098862	Diámetro normal (cm)	12,095776
Altura (m)	21	Altura (m)	5,7
Altura rama (m)	10,4	Altura rama (m)	1,6
Altura copa	10,6	Altura copa	4,1
Matorral	Lentisco, regenerado de encina		
FCC (1 -5)	1		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	26	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	32,46760839	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	17,8	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,6	Altura rama (m)	
Altura copa	8,2	Altura copa	
Matorral	Madroño, regenerado de encina		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	18	Nº de pies	3
Diámetro normal (cm)	26,41972055	Diámetro normal (cm)	13,369015
Altura (m)	13,6	Altura (m)	7,5
Altura rama (m)	7,9	Altura rama (m)	2,6
Altura copa	5,7	Altura copa	4,9
Matorral	Agracejo, regenerado de encina		
FCC (1 -5)	4		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	15	Nº de pies	1
Diámetro normal (cm)	24,82817112	Diámetro normal (cm)	17,507044
Altura (m)	18,2	Altura (m)	6,5
Altura rama (m)	14,4	Altura rama (m)	2,1
Altura copa	3,8	Altura copa	4,4
Matorral	omero, Agracejo, Lentisco, regenerado de encina y pino, resto		
FCC (1 -5)	2		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	28,8866222	1256,637061	588,873289	0,28886622
Altura (m)	17,65	0,125663706		0,0655033
Altura rama (m)	10,575			38,5731436
FCC (1 -5)	2,75			
Altura de copa (m)	7,075			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	14,3239449	1256,637061	47,7464829	0,14323945
Altura (m)	6,56666667	0,125663706		0,01610627
Altura rama (m)	2,1			0,76901768
Altura de copa (m)	4,46666667			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	21,6052835
Altura (m)	12,1083333
Altura rama (m)	6,3375

Densidad	Área Basal
636,619772	39,3421613

FOTOGRAFÍAS



Parcela	14			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	518042.54	Y:	4214795.17
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	M7			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	7	Nº de pies	4
Diámetro normal (cm)	36,28732702	Diámetro normal (cm)	17,507044
Altura (m)	12	Altura (m)	11,9
Altura rama (m)	7,2	Altura rama (m)	3,2
Altura copa	4,8	Altura copa	8,7
Matorral	heno, Lentisco, Madroño, Torvisco, Coscoja, regenerado de en		
FCC (1 -5)	4,5		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	10	Nº de pies	9
Diámetro normal (cm)	26,10141067	Diámetro normal (cm)	13,050705
Altura (m)	16	Altura (m)	6,4
Altura rama (m)	6,3	Altura rama (m)	1,2
Altura copa	9,7	Altura copa	5,2
Matorral	Romero, Lentisco, Enebro		
FCC (1 -5)	4		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	9	Nº de pies	7
Diámetro normal (cm)	36,60563691	Diámetro normal (cm)	11,140846
Altura (m)	13,2	Altura (m)	5,6
Altura rama (m)	8,5	Altura rama (m)	1,8
Altura copa	4,7	Altura copa	3,8
Matorral	Romero, Lentisco, regenerado de pino y encina		
FCC (1 -5)	5		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	3	Nº de pies	4
Diámetro normal (cm)	41,3802852	Diámetro normal (cm)	12,732395
Altura (m)	16,1	Altura (m)	7,2
Altura rama (m)	8,7	Altura rama (m)	2,2
Altura copa	7,4	Altura copa	5
Matorral	Romero, Lentisco		
FCC (1 -5)	5		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	35,093665	1256,637061	230,774667	0,35093665
Altura (m)	14,325	0,125663706		0,09667788
Altura rama (m)	7,675			22,3108051
FCC (1 -5)	4,625			
Altura de copa (m)	6,65			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	13,6077476	1256,637061	190,985932	0,13607748
Altura (m)	7,775	0,125663706		0,01453591
Altura rama (m)	2,1			2,77615383
Altura de copa (m)	5,675			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	24,3507063
Altura (m)	11,05
Altura rama (m)	4,8875

Densidad	Área Basal
421,760599	25,0869589

FOTOGRAFÍAS



Parcela	15			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	517877.35	Y:	4214921.78
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	M4			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	8	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	31,19436885	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	20,1	Altura (m)	
Altura rama (m)	11	Altura rama (m)	
Altura copa	9,1	Altura copa	
Matorral	Romero, Coscoja, Lentisco, Enebro, regenerado de pino		
FCC (1 -5)	5		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	8	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	35,01408748	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	14,2	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,1	Altura rama (m)	
Altura copa	6,1	Altura copa	
Matorral	Romero, Coscoja, Lentisco, Enebro, regenerado de pino		
FCC (1 -5)	5		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	6	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	31,19436885	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	13,2	Altura (m)	
Altura rama (m)	5,8	Altura rama (m)	
Altura copa	7,4	Altura copa	
Matorral	Romero, Coscoja, Lentisco, Enebro, regenerado de pino		
FCC (1 -5)	4,5		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	3	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	50,92958179	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	14,7	Altura (m)	
Altura rama (m)	7,5	Altura rama (m)	
Altura copa	7,2	Altura copa	
Matorral	Romero, Coscoja, Lentisco, Enebro, regenerado de pino		
FCC (1 -5)	3		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	37,0831017	1256,637061	198,943679	0,37083102
Altura (m)	15,55	0,125663706		0,10794978
Altura rama (m)	8,1			21,4759264
FCC (1 -5)	4,375			
Altura de copa (m)	7,45			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	37,0831017
Altura (m)	15,55
Altura rama (m)	8,1

Densidad	Área Basal
198,943679	21,4759264

FOTOGRAFÍAS



Parcela	16			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	516471.90	Y:	4213705.88
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR4			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	28,64788976	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	14,8	Altura (m)	
Altura rama (m)	8	Altura rama (m)	
Altura copa	6,8	Altura copa	
Matorral	Romero, Coscoja, Lentisco, 2 olivas abandonadas (2m)		
FCC (1 -5)	3		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	13	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	39,47042589	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	20,2	Altura (m)	
Altura rama (m)	10,3	Altura rama (m)	
Altura copa	9,9	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Romero, Coscoja (0,5m), Madroño (arbóreo)		
FCC (1 -5)	1		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	33,74084794	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	15,7	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,3	Altura rama (m)	
Altura copa	6,4	Altura copa	
Matorral	Romero, Coscoja, Tomillo		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	8	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	33,10422816	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	15,1	Altura (m)	
Altura rama (m)	3	Altura rama (m)	
Altura copa	12,1	Altura copa	
Matorral	3 olivas abandonadas		
FCC (1 -5)	2		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	33,7408479	1256,637061	246,690162	0,33740848
Altura (m)	16,45	0,125663706		0,08936792
Altura rama (m)	7,65			22,0461862
FCC (1 -5)	1,75			
Altura de copa (m)	8,8			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	33,7408479
Altura (m)	16,45
Altura rama (m)	7,65

Densidad	Área Basal
246,690162	22,0461862

FOTOGRAFÍAS



Parcela	17			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	516471.90	Y:	4213705.88
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM4			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	17	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	23,55493158	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	13,2	Altura (m)	
Altura rama (m)	6,4	Altura rama (m)	
Altura copa	6,8	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco, regenerado de pino		
FCC (1 -5)	2		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	12	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	23,23662169	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	11,8	Altura (m)	
Altura rama (m)	4	Altura rama (m)	
Altura copa	7,8	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco (0,5m)		
FCC (1 -5)	1,5		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	10	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	27,05634033	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	13,8	Altura (m)	
Altura rama (m)	6,3	Altura rama (m)	
Altura copa	7,5	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco (0,5m)		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	16	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	26,10141067	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	18,6	Altura (m)	
Altura rama (m)	3,7	Altura rama (m)	
Altura copa	14,9	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco (0,5m)		
FCC (1 -5)	4		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	24,9873261	1256,637061	437,676094	0,24987326
Altura (m)	14,35	0,125663706		0,04901277
Altura rama (m)	5,1			21,4517166
FCC (1 -5)	2,125			
Altura de copa (m)	9,25			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	24,9873261
Altura (m)	14,35
Altura rama (m)	5,1

Densidad	Área Basal
437,676094	21,4517166

FOTOGRAFÍAS



Parcela	18			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	516797.27	Y:	4213901.79
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM4			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	12	Nº de pies	18
Diámetro normal (cm)	38,19718634	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	13,5	Altura (m)	3,8
Altura rama (m)	6	Altura rama (m)	1,4
Altura copa	7,5	Altura copa	2,4
Matorral	Romero, Coscoja, Lentisco		
FCC (1 -5)	1,5		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	18	Nº de pies	9
Diámetro normal (cm)	27,05634033	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	15,3	Altura (m)	7,3
Altura rama (m)	7,7	Altura rama (m)	2,1
Altura copa	7,6	Altura copa	5,2
Matorral	Romero, Coscoja, Lentisco, Torvisco (1,5m)		
FCC (1 -5)	2		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	17	Nº de pies	7
Diámetro normal (cm)	27,37465021	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	13	Altura (m)	5,3
Altura rama (m)	6,8	Altura rama (m)	1,8
Altura copa	6,2	Altura copa	3,5
Matorral	Romero, Coscoja, Lentisco, Torvisco, 1 pie pequeño seco de pin		
FCC (1 -5)	2,5		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	10	Nº de pies	4
Diámetro normal (cm)	44,56338407	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	14,6	Altura (m)	6
Altura rama (m)	6,4	Altura rama (m)	1,9
Altura copa	8,2	Altura copa	4,1
Matorral	Romero, Coscoja, Lentisco, Torvisco		
FCC (1 -5)	2,5		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	34,2978902	1256,637061	453,591588	0,3429789
Altura (m)	14,1	0,125663706		0,0923431
Altura rama (m)	6,725			41,8860552
FCC (1 -5)	2,125			
Altura de copa (m)	7,375			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	9,54929659	1256,637061	302,394392	0,09549297
Altura (m)	5,6	0,125663706		0,00715834
Altura rama (m)	1,8			2,16464236
Altura de copa (m)	3,8			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	21,9235934
Altura (m)	9,85
Altura rama (m)	4,2625

Densidad	Área Basal
755,98598	44,0506976

FOTOGRAFÍAS



Parcela	19			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	517123.02	Y:	4214038.92
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR7			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	12	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	44,56338407	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	16	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,6	Altura rama (m)	
Altura copa	7,4	Altura copa	
Matorral	Enebro, Madroño, Lentisco, regenerado de coscoja, restos		
FCC (1 -5)	2		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	10	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	36,60563691	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	19,7	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,7	Altura rama (m)	
Altura copa	10	Altura copa	
Matorral	bro, Madroño, Lentisco, Madroño, regenerado de coscoja, res		
FCC (1 -5)	2		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	10	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	21,32676237	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	10	Altura (m)	
Altura rama (m)	2,3	Altura rama (m)	
Altura copa	7,7	Altura copa	
Matorral	bro, Madroño, Lentisco, Madroño, regenerado de coscoja, res		
FCC (1 -5)	2,5		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	6	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	35,65070725	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	16	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,4	Altura rama (m)	
Altura copa	7,6	Altura copa	
Matorral	bro, Madroño, Lentisco, Madroño, regenerado de coscoja, res		
FCC (1 -5)	2		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	34,5366227	1256,637061	302,394392	0,34536623
Altura (m)	15,425	0,125663706		0,0936331
Altura rama (m)	7,25			28,3141234
FCC (1 -5)	2,125			
Altura de copa (m)	8,175			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	34,5366227
Altura (m)	15,425
Altura rama (m)	7,25

Densidad	Área Basal
302,394392	28,3141234

FOTOGRAFÍAS



Parcela	20			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	517426.73	Y:	4214174.68
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR3			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	9	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	36,28732702	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	17,3	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,8	Altura rama (m)	
Altura copa	8,5	Altura copa	
Matorral	Lentisco, Tomillo, Enebro, 2 olivos abandonados, regenerado de		
FCC (1 -5)	1		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	8	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	31,83098862	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	15,6	Altura (m)	
Altura rama (m)	5,9	Altura rama (m)	
Altura copa	9,7	Altura copa	
Matorral	bro, Madroño, Lentisco, Madroño, regenerado de coscoja, res		
FCC (1 -5)	1,5		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	13	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	31,83098862	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	16,5	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,3	Altura rama (m)	
Altura copa	8,2	Altura copa	
Matorral	3 olivos abandonados		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	13	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	24,82817112	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	19,7	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,1	Altura rama (m)	
Altura copa	11,6	Altura copa	
Matorral	5 olivos abandonados		
FCC (1 -5)	1		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	31,1943688	1256,637061	342,183128	0,31194369
Altura (m)	17,275	0,125663706		0,07638746
Altura rama (m)	7,775			26,1384996
FCC (1 -5)	1,125			
Altura de copa (m)	9,5			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	31,1943688
Altura (m)	17,275
Altura rama (m)	7,775

Densidad	Área Basal
342,183128	26,1384996

FOTOGRAFÍAS



Parcela	21			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	517537.71	Y:	4214228.71
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM4			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	6	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	46,1549335	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	16,3	Altura (m)	
Altura rama (m)	6,7	Altura rama (m)	
Altura copa	9,6	Altura copa	
Matorral	Coscoja, Agracejo, Madroña, Aulaga, Lentisco, Enebro (1,5m)		
FCC (1 -5)	1,5		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	6	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	38,19718634	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	14,1	Altura (m)	
Altura rama (m)	5,1	Altura rama (m)	
Altura copa	9	Altura copa	
Matorral	Enebro, Coscoja		
FCC (1 -5)	2		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	4	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	26,10141067	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	13,3	Altura (m)	
Altura rama (m)	4,7	Altura rama (m)	
Altura copa	8,6	Altura copa	
Matorral	Enebro, Lentisco, Tomillo, Aulaga		
FCC (1 -5)	2		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	7	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	38,83380611	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	19,5	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,9	Altura rama (m)	
Altura copa	9,6	Altura copa	
Matorral	Torvisco, Lentisco, Tomillo		
FCC (1 -5)	2		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	37,3218342	1256,637061	183,028185	0,37321834
Altura (m)	15,8	0,125663706		0,10934417
Altura rama (m)	6,6			20,0130641
FCC (1 -5)	1,875			
Altura de copa (m)	9,2			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	37,3218342
Altura (m)	15,8
Altura rama (m)	6,6

Densidad	Área Basal
183,028185	20,0130641

FOTOGRAFÍAS



Parcela	22			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	515873.59	Y:	4212138.36
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	M9			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	10	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	28,64788976	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	14,3	Altura (m)	
Altura rama (m)	6,5	Altura rama (m)	
Altura copa	7,8	Altura copa	
Matorral	Lentisco, Romero, labiérnago, Coscoja (3-5m)		
FCC (1 -5)	4		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	6	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	20,05352283	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	13,9	Altura (m)	
Altura rama (m)	7	Altura rama (m)	
Altura copa	6,9	Altura copa	
Matorral	Lentisco, Romero, labiérnago, Coscoja (3-5m)		
FCC (1 -5)	4,5		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	8	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	20,05352283	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	15,8	Altura (m)	
Altura rama (m)	6,5	Altura rama (m)	
Altura copa	9,3	Altura copa	
Matorral	Lentisco, Romero, labiérnago, Coscoja (3-5m)		
FCC (1 -5)	5		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	7	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	21,64507226	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	14	Altura (m)	
Altura rama (m)	5,7	Altura rama (m)	
Altura copa	8,3	Altura copa	
Matorral	Lentisco, Romero, labiérnago, Coscoja (3-5m)		
FCC (1 -5)	4		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	22,6000019	1256,637061	246,690162	0,22600002
Altura (m)	14,5	0,125663706		0,04009467
Altura rama (m)	6,425			9,89095984
FCC (1 -5)	4,375			
Altura de copa (m)	8,075			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	22,6000019	246,690162	9,89095984
Altura (m)	14,5		
Altura rama (m)	6,425		

FOTOGRAFÍAS



Parcela	23			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	515330.65	Y:	4212833.93
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM4			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	30	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	23,23662169	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	20,4	Altura (m)	
Altura rama (m)	12,1	Altura rama (m)	
Altura copa	8,3	Altura copa	
Matorral	5m), Torvisco, Enebro, 8 olivas abandonadas, Zarzaparilla, Espi		
FCC (1 -5)	4		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	19	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	22,91831181	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	14	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,4	Altura rama (m)	
Altura copa	5,6	Altura copa	
Matorral	visco, Enebro, Espino Majoleta, 3 olivas abandonadas, regenera		
FCC (1 -5)	3		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	12	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	22,60000192	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	19,8	Altura (m)	
Altura rama (m)	13,8	Altura rama (m)	
Altura copa	6	Altura copa	
Matorral	co (1m), Espino majoleta, 3 olivas abandonadas, regenerado d		
FCC (1 -5)	2		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	26	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	21,00845249	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	15,9	Altura (m)	
Altura rama (m)	11	Altura rama (m)	
Altura copa	4,9	Altura copa	
Matorral	Lentisco, Espino majoleta, 4 olivas abandonadas		
FCC (1 -5)	3,5		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	22,440847	1256,637061	692,324002	0,22440847
Altura (m)	17,525	0,125663706		0,03953194
Altura rama (m)	11,325			27,368912
FCC (1 -5)	3,125			
Altura de copa (m)	6,2			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	22,440847
Altura (m)	17,525
Altura rama (m)	11,325

Densidad	Área Basal
692,324002	27,368912

FOTOGRAFÍAS



Parcela	24			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	515764.51	Y:	4213304.37
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	M7			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	5	Nº de pies	2
Diámetro normal (cm)	42,97183463	Diámetro normal (cm)	12,732395
Altura (m)	18,1	Altura (m)	6
Altura rama (m)	12,4	Altura rama (m)	2,3
Altura copa	5,7	Altura copa	3,7
Matorral), Coscoja, Enebro, Romero (1,5m), Tomillo (0,5m), Espino maj		
FCC (1 -5)	5		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	43,60845441	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	13,6	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,7	Altura rama (m)	
Altura copa	3,9	Altura copa	
Matorral	visco, Enebro, Espino Majoletto, 3 olivas abandonadas, regener		
FCC (1 -5)	5		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	8	Nº de pies	2
Diámetro normal (cm)	22,91831181	Diámetro normal (cm)	15,915494
Altura (m)	12,4	Altura (m)	7,5
Altura rama (m)	6,6	Altura rama (m)	1,8
Altura copa	5,8	Altura copa	5,7
Matorral	Lentisco, Coscoja, Romero, Tomillo		
FCC (1 -5)	5		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	5	Nº de pies	1
Diámetro normal (cm)	34,37746771	Diámetro normal (cm)	20,053523
Altura (m)	19,4	Altura (m)	9,5
Altura rama (m)	8,8	Altura rama (m)	1,9
Altura copa	10,6	Altura copa	7,6
Matorral	Espino majoletto, regenerado de coscoja, restos		
FCC (1 -5)	3		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	35,9690171	1256,637061	183,028185	0,35969017
Altura (m)	15,875	0,125663706		0,10156096
Altura rama (m)	9,375			18,5885182
FCC (1 -5)	4,5			
Altura de copa (m)	6,5			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	16,2338042	1256,637061	39,7887358	0,16233804
Altura (m)	7,66666667	0,125663706		0,02068761
Altura rama (m)	2			0,82313374
Altura de copa (m)	5,66666667			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	26,1014107
Altura (m)	11,7708333
Altura rama (m)	5,6875

Densidad	Área Basal
222,81692	19,4116519

FOTOGRAFÍAS



Parcela	25			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	516197.86	Y:	4213595.80
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HR3			
Radio de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	16	Nº de pies	18
Diámetro normal (cm)	28,64788976	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	11,8	Altura (m)	3,8
Altura rama (m)	5,4	Altura rama (m)	1,6
Altura copa	6,4	Altura copa	2,2
Matorral	na (10-15cm), Tomillo, Lentisco (0,5m), regenerado de pino y e		
FCC (1 -5)	1		

Sector 2			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	14	Nº de pies	9
Diámetro normal (cm)	29,60281942	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	16,9	Altura (m)	7,3
Altura rama (m)	9,1	Altura rama (m)	2,1
Altura copa	7,8	Altura copa	5,2
Matorral	na (10-15cm), Tomillo, Lentisco (0,5m), regenerado de pino y e		
FCC (1 -5)	1		

Sector 3			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	7	Nº de pies	7
Diámetro normal (cm)	32,78591828	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	18,4	Altura (m)	5,3
Altura rama (m)	9,4	Altura rama (m)	1,7
Altura copa	9	Altura copa	3,6
Matorral	na (10-15cm), Tomillo, Lentisco (0,5m), regenerado de pino y e		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	P. halepensis	Especie	Q. ilex
Nº de pies	14	Nº de pies	4
Diámetro normal (cm)	37,56056657	Diámetro normal (cm)	9,5492966
Altura (m)	18,5	Altura (m)	6
Altura rama (m)	5,3	Altura rama (m)	1,9
Altura copa	13,2	Altura copa	4,1
Matorral	na (10-15cm), Tomillo, Lentisco (0,5m), regenerado de pino y e		
FCC (1 -5)	1		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	32,1492985	1256,637061	405,845105	0,32149299
Altura (m)	16,4	0,125663706		0,08113583
Altura rama (m)	7,3			32,9285776
FCC (1 -5)	1			
Altura de copa (m)	9,1			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	9,54929659	1256,637061	302,394392	0,09549297
Altura (m)	5,6	0,125663706		0,00715834
Altura rama (m)	1,825			2,16464236
Altura de copa (m)	3,775			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	20,8492975
Altura (m)	11
Altura rama (m)	4,5625

Densidad	Área Basal
708,239497	35,09322

FOTOGRAFÍAS



Parcela	26			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	525638.70	Y:	4224510.33
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM4			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	7	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	50	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	19,3	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,7	Altura rama (m)	
Altura copa	9,6	Altura copa	
Matorral	Pinocha (2cm), Tomillo, Lentisco (0,5m)		
FCC (1 -5)	1		

Sector 2			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	12	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	25	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	6,6	Altura (m)	
Altura rama (m)	4,1	Altura rama (m)	
Altura copa	2,5	Altura copa	
Matorral	Pinocha (2cm), Tomillo, Lentisco (0,5m)		
FCC (1 -5)	1		

Sector 3			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	56,8	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	18,3	Altura (m)	
Altura rama (m)	14,8	Altura rama (m)	
Altura copa	3,5	Altura copa	
Matorral	Pinocha (2cm), Tomillo, Lentisco (0,5m)		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	55,4	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	27,6	Altura (m)	
Altura rama (m)	15	Altura rama (m)	
Altura copa	12,6	Altura copa	
Matorral	Pinocha (2cm), Tomillo, Lentisco (0,5m)		
FCC (1 -5)	1		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	46,8	1256,637061	230,774667	0,468
Altura (m)	17,95	0,125663706		0,17193384
Altura rama (m)	10,9			39,6779748
FCC (1 -5)	1			
Altura de copa (m)	7,05			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	46,8
Altura (m)	17,95
Altura rama (m)	10,9

Densidad	Área Basal
230,774667	39,6779748

FOTOGRAFÍAS



Parcela	27			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	525000.23	Y:	4224653.08
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM4			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	2	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	57	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	25,5	Altura (m)	
Altura rama (m)	8,6	Altura rama (m)	
Altura copa	16,9	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco, Lavanda		
FCC (1 -5)	1		

Sector 2			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	27,7	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	10,2	Altura (m)	
Altura rama (m)	5	Altura rama (m)	
Altura copa	5,2	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco, Lavanda		
FCC (1 -5)	1		

Sector 3			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	16,9	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	7,4	Altura (m)	
Altura rama (m)	3,6	Altura rama (m)	
Altura copa	3,8	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco, Lavanda		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	7	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	19,5	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	8,9	Altura (m)	
Altura rama (m)	4	Altura rama (m)	
Altura copa	4,9	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco, Lavanda		
FCC (1 -5)	1		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	30,275	1256,637061	151,197196	0,30275
Altura (m)	13	0,125663706		0,07195119
Altura rama (m)	5,3			10,8788177
FCC (1 -5)	1			
Altura de copa (m)	7,7			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	30,275
Altura (m)	13
Altura rama (m)	5,3

Densidad	Área Basal
151,197196	10,8788177

FOTOGRAFÍAS



Parcela	28			
Coord. ETRS89 UTM30	X:	524854.24	Y:	4225488.52
Especies	Pinus halepensis			
Modelos UCO40	HPM4			
Radios de la parcela (m)	1	20	2	20

Sector 1			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	4	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	13	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	5,6	Altura (m)	
Altura rama (m)	1,5	Altura rama (m)	
Altura copa	4,1	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco		
FCC (1 -5)	1		

Sector 2			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	5	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	33	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	9,4	Altura (m)	
Altura rama (m)	4,8	Altura rama (m)	
Altura copa	4,6	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco		
FCC (1 -5)	1		

Sector 3			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	6	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	36,5	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	12,1	Altura (m)	
Altura rama (m)	5,1	Altura rama (m)	
Altura copa	7	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco		
FCC (1 -5)	1		

Sector 4			
Especie	P. pinaster	Especie	
Nº de pies	4	Nº de pies	
Diámetro normal (cm)	43,8	Diámetro normal (cm)	
Altura (m)	21,4	Altura (m)	
Altura rama (m)	9,4	Altura rama (m)	
Altura copa	12	Altura copa	
Matorral	Tomillo, Lentisco		
FCC (1 -5)	1		

ESTADÍSTICOS

PINUS	MEDIAS	Sup. parcela	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	31,575	1256,637061	151,197196	0,31575
Altura (m)	12,125	0,125663706		0,07826298
Altura rama (m)	5,2			11,833143
FCC (1 -5)	1			
Altura de copa (m)	6,925			

QUERCUS	MEDIAS	Superficie de la p	Densidad	Área Basal
Diámetro normal (cm)	-	1256,637061	0	-
Altura (m)	-	0,125663706		-
Altura rama (m)	-			0
Altura de copa (m)	-			

MASA	MEDIAS
Diámetro normal (cm)	31,575
Altura (m)	12,125
Altura rama (m)	5,2

Densidad	Área Basal
151,197196	11,833143

FOTOGRAFÍAS

